

Joachim Kahlert

# Thema: Kernenergie

Ein Beitrag zum politischen Lernen  
in der Sekundarstufe I

Beltz Verlag · Weinheim und Basel 1982

**Inhaltsverzeichnis**

Vorwort . . . . . 7

**Teil I: Politisches Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht . . . . . 9**

1 Der „angepaßte Fachidiot“ oder der naturwissenschaftliche „Versager“ . . . 9

1.1 Reaktion der Schüler auf den naturwissenschaftlichen Unterricht . . . 9

1.2 Lebensfremdheit und Motivationsverlust . . . . . 10

1.3 Naturwissenschaftliches Desinteresse und dessen Folgen . . . . . 14

2 Bedingungen politischer Sozialisation in der Schule . . . . . 16

2.1 Politische Erziehung zwischen Emanzipation und heimlichem Lehrplan . . . . . 16

2.2 Methodisch-didaktische Bedingungen politischen Lernens . . . . . 19

3 Fachwissenschaft und Fachdidaktik unter dem Aspekt politischen Lernens . . . . . 24

3.1 Die Ideologie vom kritischen Bildungsgehalt naturwissenschafts-immanenter Lerninhalte . . . . . 24

3.2 Politisches Lernen als Leitprinzip didaktischer Akzentuierung . . . . 30

**Teil II: Naturwissenschaftliche, technische und gesellschaftspolitische Grundlagen der Kernenergie . . . . . 33**

4 Energiepolitischer Begründungszusammenhang für die Kernenergie . . . 33

4.1 Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch . . . . . 33

4.2 Probleme langfristiger Energiebedarfsdeckung . . . . . 35

4.3 Kernenergiepolitik in der BRD . . . . . 38

5 Naturwissenschaftliche Grundlagen der Kernenergie (einfaches Atommodell) . . . . . 41

5.1 Bau der Atome . . . . . 41

5.2 Änderungsprozesse von Atomkernen . . . . . 45

6 Kontrollierte Kernspaltung im Atomkraftwerk . . . . . 50

6.1 Reaktorkern: Brennstoff und Steuerstäbe . . . . . 50

6.2 Moderator . . . . . 52

6.3 Energieumsetzung . . . . . 52

6.4 Verschiedene Reaktortypen . . . . . 53

7	Umweltbelastung durch Radioaktivität . . . . .	55
7.1	Radioaktivitätsabgabe bei Normalbetrieb . . . . .	55
7.2	Biologische Strahlungsschäden . . . . .	57
7.3	Niedrige radioaktive Dosen . . . . .	59
7.4	Entsorgung . . . . .	63
8	Sicherheitstechnik und Risikophilosophie . . . . .	68
8.1	Der größte anzunehmende Unfall (GAU) . . . . .	68
8.2	Sicherheitssysteme . . . . .	69
8.3	Von der Sicherheitsgarantie zur Risikophilosophie . . . . .	75
9	Kernenergiepolitik im Widerspruch zwischen Versorgung und Sicherheit . . . . .	78
 <b>Teil III: Didaktische Rahmenbedingungen politischen Lernens am Thema</b>		
	<b>Kernenergie</b> . . . . .	85
10	Didaktisch-methodische Eignung des Themas . . . . .	85
11	Einbettung in die Rahmenpläne . . . . .	89
12	Lernvoraussetzungen in der Sekundarstufe I: Umweltorientierung in der Adoleszenzphase . . . . .	91
13	Intentionen der Unterrichtseinheit . . . . .	93
14	Didaktisch-methodische Konsequenzen für die Entwicklung der Unterrichtseinheit . . . . .	95
14.1	Didaktische Reduktion und Akzentuierung . . . . .	95
14.2	Der methodisch-didaktische Zusammenhang der Stundenkomplexe . . . . .	97
 <b>Teil IV: Unterrichtseinheit Kernenergie: Ausweg aus der Energiekrise oder Sackgasse des Fortschritts?</b> . . . . .		
		102
Vorbemerkung:	Hinweise zur Arbeit mit der Unterrichtseinheit . . . . .	102
Stundenkomplex I:	Energiepolitische Rahmenbedingungen der Kernenergie . . . . .	104
Stundenkomplex II:	Naturwissenschaftliche Grundlagen des radioaktiven Zerfalls und der Kernspaltung . . . . .	109
Stundenkomplex III:	Technische Grundlagen der kontrollierten Kettenreaktion . . . . .	115
Stundenkomplex IV:	Die radiologische Aktivität eines Kernkraftwerks . . . . .	119
Stundenkomplex V:	Sicherheitstechnik und Unfallrisiko . . . . .	124
Stundenkomplex VI:	Wirtschaftliche und technische Folgeprobleme der Kernenergie . . . . .	129
Weiterführende Schüleraktivitäten	. . . . .	134
Literaturverzeichnis	. . . . .	136
Anhang: Transparente, Arbeitsblätter und Tafelbilder	. . . . .	144

## Vorwort

In seiner Regierungserklärung Ende Herbst 1980 betonte Bundeskanzler Schmidt: „Kernenergie darf der Bevölkerung nicht übergestülpt werden; ihr Ausbau erfordert einen breiten demokratischen Konsens“ (Regierungserklärung der sozial-liberalen Koalition, zitiert nach Frankfurter Rundschau vom 9.12.1980, S. 11).

Der Verwirklichung dieses Anspruchs entgegen stehen häufig schwankende Energiebedarfsprognosen, Warnungen vor einer entbehrungsreichen Zukunft ohne Kernenergie, wissenschaftlich ausgewiesene Sachverständigergutachten mit gegensätzlichen Aussagen zur Gefährdung der Bevölkerung durch Kernkraftwerke, beschwörende Warnungen und beschwichtigende Worte als Antwort auf die noch offene Entsorgungsfrage, die es dem einzelnen erschweren, ein selbstbewußtes und qualifiziertes Urteil zu fällen.

Somit greift die Behandlung des Themas Kernenergie im Unterricht ein Strukturproblem hochtechnisierter Gesellschaften auf, denn die Auseinandersetzung um die technische Beherrschbarkeit der kontrollierten Kernspaltung hat ein Kernproblem der Kontrolle von Herrschaft offengelegt:

In dem Maße, wie Naturwissenschaft und Technik die Arbeits- und Lebenszusammenhänge in einer Gesellschaft formen, wird die Fähigkeit der in ihr lebenden Menschen, sich technisch-naturwissenschaftliche Orientierung verschaffen zu können, eine Voraussetzung bewußter politischer Partizipation. Nur so läßt sich eine gesellschaftliche Entwicklung verhindern, in der im Grunde politisch zu legitimierende Entscheidungen als Ergebnis wissenschaftlich begründeter Zweckrationalität und die dahinter verborgenen Interessen als Sachzwänge ausgegeben werden.

Im ersten Teil des Buches werden, ausgehend von dem Erziehungsanspruch, Schüler zur Selbst- und Mitbestimmung ihrer Lebensumstände zu befähigen und unter Berücksichtigung der Rolle der Naturwissenschaften in der hochtechnisierten Gesellschaft Bedingungen für politisches Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht erörtert.

Die Darstellung der naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen, energiepolitischen Rahmenbedingungen und gesellschaftlichen Folgeprobleme der Kernenergienutzung im Teil II soll die Erarbeitung einer Wissensbasis zur Beurteilung der verschiedenen Standpunkte in der Auseinandersetzung um die Kernenergie erleichtern. Zudem bildet dieser Teil den inhaltlichen Bezugsrahmen für die methodisch-didaktischen Überlegungen im dritten Teil, in dem unter Einbeziehung



von Rahmenplanansprüchen einzelner Bundesländer, Lernvoraussetzungen von Schülern der Sekundarstufe I und den grundsätzlichen Überlegungen zum politischen Lernen Unterrichtsziele und methodisch-didaktische Schwerpunktsetzungen begründet werden.

Teil IV enthält einen an den vorausgegangenen Ausführungen orientierten, nach sechs Themenkomplexen gegliederten Vorschlag für eine Unterrichtseinheit, die neben der Vermittlung von Sachinformationen über die energiepolitischen und naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen der Kernenergienutzung anstrebt, den Schülern erfahrbar zu machen, daß – allen wissenschaftlichen und sachlogischen Argumenten zum Trotz – absolut gültige Aussagen über die technische Sicherheit und gesundheitliche Gefährlosigkeit der nuklearen Energieversorgung nicht möglich sind, sondern die Einstellung zur Kernenergie letztlich von der politisch zu entscheidenden Frage abhängen muß, welches Risiko einer Gesellschaft zugemutet werden soll. Zusammen mit dem Erwerb von Selbstvertrauen, komplexe naturwissenschaftlich-technische Sachverhalte erarbeiten zu können, erwächst aus dieser Einsicht die Motivation, Wissenschaftsgläubigkeit durch das Streben nach eigener Urteilsfähigkeit zu ersetzen.

Die phasengegliederte Unterrichtsplanung wird im Anhang durch Vorschläge für die Erstellung von Arbeitsblättern, Transparenten und Tafelbildern ergänzt.

Die Medien sind als Transparente und reproduktionsfähige Fotokopiervorlagen für die Erstellung von Arbeitsblättern auch unter folgenden Titeln zu beziehen:

1. Joachim Kahlert, Transparente zum Thema Kernenergie. 24 zweifarbige Folien, teilweise als Aufbautransparente, Beiheft 36 S. Beltz Verlag, Weinheim 1981, ISBN 3-407-99012-X
2. Joachim Kahlert, Arbeitsblätter z. Thema Kernenergie, 21 Kopiervorlagen, Beiheft 36 S., Beltz Original, Weinheim 1981, ISBN 3-407-99011-X

# Teil I

## Politisches Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht

### 1 Der angepaßte „Fachidiot“ oder der naturwissenschaftliche „Versager“

#### 1.1 Reaktion der Schüler auf den naturwissenschaftlichen Unterricht

„Chemie habe ich noch nie so richtig gekonnt. Das ist mir zu schwer. Außerdem weiß ich nicht, wozu ich das lernen soll. Später, nach der Schule, habe ich nichts mehr damit zu tun.“

Mit diesen sinngemäß wiedergegebenen Worten antwortete ein Schüler der 9. Klasse, als ich ihm gegenüber meine Verwunderung ausdrückte, daß er nichts auf meine Frage nach Eigenschaften von Stoffgemischen im Vergleich zu den Ausgangsstoffen antworten könne.

Freilich mußte er alsbald eingestehen, bereits öfter Tee gesüßt, Fruchtsaft gemixt oder Speisen gewürzt zu haben, und selbstverständlich wußte er auch, diese Vorgänge als Mischen mehrerer Stoffe zu beschreiben. Sogar die Formulierung der Erkenntnis, daß die Eigenschaften der Stoffe beim Mischen erhalten bleiben, war ihm über den Umweg durch die Küche zu entlocken.

Hospitation im Physikunterricht: Die Kollegin eröffnet die Unterrichtsstunde in einer 7. Klasse über das Thema „lose Rolle“ mit der Projektion einer Tageslichtprojektorfolie, auf der eine Baustellensituation abgebildet ist. Interessiert beschreiben die Schüler ihre Beobachtungen und formulieren plangemäß die Problemstellung: Kraftersparnis beim Transport von Baumaterial in obere Stockwerke. Allerdings mag der Transfer der „lebensnahen“ Motivation auf die Erarbeitung des Zusammenhangs von Kraftweg und Lastweg mit Hilfe einer Versuchsreihe nicht so recht gelingen. Die Phantasie der Schüler läßt sich offenbar nicht von der Baustelle mit den Gerüsten und Steinen auf die sterilen Versuchstische mit Federwaage und normierten Gewichten zurechtstutzen.

Immerhin: Am Ende der Unterrichtsstunde steht das angestrebte Ergebnis an der Tafel. Einige Schüler werden es auswendig lernen, die meisten haben es am Ende der Pause bereits wieder vergessen. „Wozu braucht man eigentlich Physik? Ich will doch kein Physiker werden.“

Die Alltäglichkeit der geschilderten Episoden aus der Unterrichtspraxis macht sie zu exemplarischen Äußerungen des widersprüchlichen Verhältnisses zwischen angestrebten fachbezogenen Lernzielen des naturwissenschaftlichen Unterrichts und den sich zum Fachunterricht herausbildenden Schülerhaltungen.

Den in fachdidaktischen Arbeiten formulierten Unterrichtszielen wie „die Vermittlung und Übung methodischen Denkens“ (Amelung 1973, S. 77), Grundlegung „für eine objektive, die Erscheinungen der Umwelt rational erfassende Betrachtungsweise“ (Kiekeben 1974, S. 7), „Erkenntnis und Kenntnis soll der Schüler also möglichst nach den Verfahren gewinnen, die auch der Forscher vorwiegend anwendet“ (Selchow-Wrobel 1972, S. 5) stehen die Schülerhaltungen zum naturwissenschaftlichen Unterricht gegenüber: Fassungslosigkeit, Unwillen, Resignation, Desinteresse.

Diesen Erfahrungen entspricht die Bilanz, die Becker in einer empirischen Untersuchung über die Fachbeliebtheit des Chemieunterrichts ziehen muß: „Die Fachbeliebtheit nimmt mit der Dauer der Teilnahme am Chemieunterricht ab“ (Becker 1977, S. 115). Unter Berufung auf eine thematisch ähnliche Untersuchung über den Physikunterricht merkt Becker an: „Auch die Beliebtheit des Physikunterrichts nimmt mit zunehmendem Alter der Schüler ab“ (ebd., S. 115).

Wie zum Spott auf die oben zitierten Ziele beklagt G. Freise „die mehr als 80 % der Schüler, die die Schule in völliger Inkompetenz mit einem fachwissenschaftlichen Fragment verlassen“ (Freise 1973, S. 211).

Nun lassen sich gewiß auch Beispiele von der Sonnenseite des naturwissenschaftlichen Unterrichts anführen: Wer hätte sie nicht in seiner Klasse, die überaus interessierten Schüler, die jede Formel können, die mit Fachausdrücken glänzen und spielend noch jene Aufgaben lösen, bei denen allein der Ansatz für die anderen Schüler hinter undurchdringlich erscheinenden Nebelschwaden der Fachwissenschaft verborgen bleibt?

Aber: sind diese Schüler wirklich in der Lage, *naturwissenschaftlich* zu denken? Können sie ihr Wissen kreativ für die Analyse und Lösung naturwissenschaftlicher Probleme in ihrem Lebenszusammenhang anwenden? Wird es ihnen gar gelingen, die Scheinrationalität technokratischer Legitimationsversuche für politische Entscheidungen zu durchschauen? Mit Gewißheit läßt sich nur sagen: Diese Schüler haben die zur Bewältigung der Naturwissenschaften als Unterrichtsrealität notwendigen Verhaltensdispositionen und kognitiven Fähigkeiten ausgebildet!

Aber was ist das für eine Realität und in welchem Verhältnis steht die Realität naturwissenschaftlichen Unterrichts zur gesellschaftlichen Realität der Naturwissenschaften?

## **1.2 Lebensfremdheit und Motivationsverlust**

Abgelöst von ihren alltäglichen Lebensproblemen werden die Schüler in der Schule mit Leistungsanforderungen konfrontiert, deren Erfüllung nicht durch die Einsicht in die lebensgeschichtliche Verwertbarkeit von Lerninhalten motiviert ist, sondern durch das als Selektionsinstrument für die Zumessung von Lebenschancen wirkende Benotungssystem.

Unabhängig von den sozialisationsbedingten Unterschieden in der Reaktion der Schüler, die im Extremfall mit internalisiertem Leistungsstreben oder Verweigerung

dem allgemeinen Leistungsanspruch der Schule begegnen und ungeachtet der didaktisch-methodischen Leistungen qualifizierter Lehrer, die den Unterrichtsstoff interessant aufbereiten – nicht Interesse sondern Anpassung, nicht Erfahrung sondern Zwang begründen unmittelbar das schulische Lernklima. „In der praxisorientierten pädagogischen Literatur und im pragmatischen Unterrichtsbetrieb unserer Schulen scheinen nur wenige daran zu zweifeln, daß der Schüler um der Leistung willen lernt, vor allem, daß er es soll“ (Schiefele/Hausser/Schneider 1979, S. 1).

In der Organisation und Gestaltung des Unterrichts reproduziert sich für die Schüler die Erfahrung, nicht Subjekt eines selbstgesteuerten, durch Auseinandersetzung mit der Umwelt stetig voranschreitenden Lernprozesses zu sein, sondern Objekt institutioneller Situationsdefinitionen. So bestimmen letztlich nicht Interesse am Unterrichtsgeschehen und die Informations- und Mitteilungsbedürfnisse der Schüler die Interaktionen im Klassenzimmer, sondern diese werden geregelt über den Lehrer als Verteiler von Redeerlaubnissen. Ebenso wenig kann der Schüler selbständig über Art und Verwendung von Arbeitsmitteln verfügen, denn es obliegt dem Lehrer, didaktisch-methodisch reflektiert, Material bereitzustellen und den zeitlichen Ablauf der Schülertätigkeiten zu bestimmen. Ein von außen gesetzter Stunden- und Zeitplan läßt sowohl vertieftes Engagement als auch absolutes Desinteresse der Schüler unbeachtet. Im  $\frac{3}{4}$ -Stunden-Takt wird Interesse verlangt, wenn es noch nicht entwickelt ist und unterdrückt, wenn es gerade aufgebaut werden konnte.

Zusammenfassend bleibt festzustellen: Die Inhalte des Unterrichts stehen mit der Realität des lernenden Subjekts nicht in einem direkten Erfahrungszusammenhang, so daß das Erkenntnisinteresse der Schüler nicht aus einem unmittelbaren Lernbedürfnis erwächst sondern vermittelt ist über die Realität des Unterrichts mit seinen sanktionell abgesicherten Leistungsanforderungen und institutionellen Situationsdefinitionen.

Pointiert bemerkt Herndorn: „Solange man Menschen bedrohen kann, kann man nicht wissen, ob sie das, was man ihnen vorschlägt, tun wollen oder nicht. Man kann nicht sagen, ob sie dazu inspiriert werden, ob sie daraus lernen und ob sie es so weitermachen würden, wenn man sie nicht bedrohte“ (Herndorn 1972, S. 114).

Daher kann aus der Erfüllung konkreter Leistungsanforderungen unter den beschriebenen Unterrichtsbedingungen nicht auf die Qualität des Lernprozesses geschlossen werden: „In der Schule befinden sich ungezählte Schüler, die es dem Anschein nach in der Schule schaffen, die ihre geistigen Antriebskräfte jedoch sogleich mit dem Schlußklingeln abschalten. Diese Kinder haben sehr wohl gelernt, wie man die Lehrer zufriedenstellen kann. Nur haben sie darüber verlernt, ihren Kopf weiterzugebrauchen, wenn die Lehrer einmal nicht dabei sind“ (Jackson 1975, S. 32).

Unter Berücksichtigung des Einflusses der skizzierten Bedingungen schulischen Lernens auf die kognitiven, sozial affektiven und emotionalen Ergebnisse des Unterrichts darf abweichendes Schülerverhalten – wie es in Desinteresse am Unterrichtsstoff zum Ausdruck kommt – nicht subjektivierend verkürzt mit

Merkmale der Schülerpersönlichkeit erklärt werden. Anstatt Schüler infolge gezeigten Desinteresses oder vorhandener Leistungsschwäche auf der Basis pragmatischer Alltagstheorien mit persönlichkeitsstrukturell verankerten Eigenschaften wie „Dummheit“, „Frechheit“, „Faulheit“ zu etikettieren<sup>1</sup>, muß gefragt werden, inwieweit durch Lernbedingungen in der Schule und konzeptuelle Orientierungen didaktischer Ansätze in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern festzustellende Motivationsverluste zur Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Problemen unterrichtsspezifisch produziert und verfestigt werden. Besonders der an der Fachsystematik orientierte Unterricht birgt die Gefahr, daß die beschriebene Distanz schulischer Lerninhalte zur Schülerrealität eine dauerhafte Abneigung gegen naturwissenschaftliche Fachinhalte bewirkt. Denn indem entgegen der Wirklichkeit des schulischen Lernens die naturwissenschaftliche Problemstellung der Unterrichtsinhalte nicht in ihrer methodisch-didaktischen Aufarbeitung offengelegt wird sondern mit dem Schein von Wissenschaftlichkeit und Objektivität versehen wird, verdoppelt sich gleichsam die Lebensfremdheit schulischer Lerninhalte im naturwissenschaftlichen Unterricht: – die reale Distanz der Lerninhalte zur Lebenswirklichkeit der Schüler soll mit dem Schein einer wissenschaftlichen Umweltbetrachtung aufgehoben werden:

– Nach der Ideologie des wissenschaftsorientierten naturwissenschaftlichen Unterrichts soll der Phasenverlauf des Unterrichts der angeblichen Struktur des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses entsprechen: Problemstellung–Hypothesenbildung–Versuchsdurchführung–Problemlösung.

Diese Unterstellung identischer Strukturen zwischen dem naturwissenschaftlichen Forschungsprozeß und dem Verlauf eines unterrichtlichen Lernprozesses abstrahiert von den unterschiedlichen Erkenntnisvoraussetzungen in Forschung und Unterricht. Während der Forschungsprozeß einen realen Erkenntnisfortschritt anstrebt, wird im Unterricht durch methodisch-didaktische Sequentierung eines naturwissenschaftlichen Sachverhalts von den Schülern eine festgelegte Erkenntnisfolge nachvollzogen. Wird der naturwissenschaftliche Forschungsprozeß auf der Grundlage des historischen Wissensbestands von der Originalität des forschenden Subjekts vorangetrieben, so erfährt der Schüler, daß sein als forschungsähnlich ausgegebenes Problemlösungsverhalten durch die Planung des Lehrers prozeßbestimmt ist. Zudem weiß er, daß eine Lösung des Problems ohnehin am Ende der Stunde gefunden ist. Statt problemorientiert zu denken, lernen Schüler, mechanisch vorgegebene Schemata zu reproduzieren.

– Mit der Vermittlung von naturwissenschaftlichen Fakten und Gesetzen nach dem lernpsychologisch begründeten Prinzip vom Einfachen zum Komplexen, vom Konkreten zum Abstrakten, von der Anschauung zur Theorie soll der Aufbau eines naturwissenschaftlichen Weltbildes erreicht werden. Doch der Versuch, den menschlichen Erkenntnisfortschritt von seinen sozialen und wissenschaftsgeschichtlichen Bedingungen zu lösen und ihn vom einzelnen Schüler in wenigen Schuljahren

---

1 Zur impliziten Persönlichkeitstheorie von Lehrern vgl.: Höhn 1967.

individuell nachvollziehen zu lassen, muß scheitern: Denn was in der arbeitsteilig organisierten und gesellschaftlich vermittelten Auseinandersetzung des Menschen mit der Natur historisch an Wissen akkumuliert wurde, verliert in der Schule seinen Prozeßcharakter, da es sich dem Schüler als ein in jahrgangsweisen Portionen zu konsumierender Wissenschaftsbestand darstellt, mit einer feststehenden Systematik und nie versiegender Stofffülle. Damit wird allerdings nicht die Grundlage eines naturwissenschaftlichen Weltbildes gelegt, sondern Wissenschaftsgläubigkeit produziert.

– Der angeblichen Objektivität des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses wird im Unterricht durch strenge Arbeitsvorschriften und ständiger Anwendung induktiver und deduktiver Erkenntnismethoden entsprochen. Der Unterrichtsinhalt bekommt somit den Charakter eines nur durch immanente Sachlogik zu bewältigenden Problems, für dessen Lösung Subjektivität und individuelle Erkenntnisinteressen ausgeklammert werden müssen. Dabei lernt der Schüler allerdings nicht die Anwendung seines Wissens auf die ihn betreffenden Probleme, sondern erwirbt die falsche Vorstellung von einer objektiven Gültigkeit naturwissenschaftlicher Aussagen und somit die Voraussetzung, an den Sachzwang naturwissenschaftlich-technokratischer Argumentationsketten zu glauben.

Je länger der Schüler diesen Unterricht erfährt, um so nachhaltiger stellt er fest: die Welt der Naturwissenschaften hat mit seiner eigenen nichts zu tun.

Einige Schulbuchtitel drücken diesen Sachverhalt – wohl im Gegensatz zu den motivationsbemühten Absichten ihrer Autoren – mit Selbstverständlichkeit aus. Titel wie „Chemie-Welt der Stoffe“ (Cuny/Weber 1975), „Welt der Physik und Chemie“ (Walz, Grothe 1979), „Wege in die Physik“ (Adelhelm u.a. 1976) verraten hintergründig die Einschätzung ihrer Autoren, daß die Schüler offensichtlich ohnehin glauben, mit etwas Fremden zu tun zu bekommen, das seine eigene Gesetzlichkeit und Wahrheit hat und mit dem bestenfalls einige Experten Spaß haben können.

Vor diesem Hintergrund werden die Reaktionen der Schüler auf den naturwissenschaftlichen Unterricht verständlich. Entgegen den wissenschaftlichen Ansprüchen an den Unterricht erscheinen dem Schüler die Inhalte als kaum zu überblickende oder gar zu durchschauende Sammlung von Gesetzen und Fakten; die zur Anwendung kommenden Untersuchungsmethoden erfährt er als Arbeitsschemata. Versehen mit dem Anspruch der Objektivität – das ist nun einmal so – wird der Unterricht für die Schüler zunehmend unattraktiver: eigene Bedürfnisse unterliegen vor der Sachlogik und den streng schematisierten Arbeitsverfahren. In der Lernpsychologie und in der Sozialisationsforschung ist der Zusammenhang zwischen Leistungsbereitschaft, Leistungsinteresse und Erfolgserfahrung vielfach aufgearbeitet (Graumann 1969; Heckhausen 1966, 1968; Neumann-Schönwetter 1971; Rose/D'Andrade 1959):

Ob Motivationsverlust infolge ständiger Mißerfolgserlebnisse einsetzt, Verweigerung gegenüber Arbeitsanforderungen, deren Sinn nicht mehr einsichtig ist, praktiziert wird oder schlicht Resignation stattfindet: Aufgrund des fehlenden

Bezuges des im Unterricht behandelten Stoffs zu den Erfahrungen und Lebensumständen und der damit verbundenen Wahrnehmung des Lerninhaltes als ein aus einer fremden – wissenschaftlichen – Welt stammendes Phänomen, reduziert der Schüler sein Anspruchsniveau gegenüber seinen eigenen Leistungen in diesen Fächern, bis er den angebotenen Lerngegenständen ablehnend, bestenfalls gleichgültig gegenübersteht.

Läßt er sich dennoch auf die Anforderungen des Faches ein und bemüht sich, diese zu erfüllen, läuft er Gefahr der „Beschädigung des Selbstvertrauens und der geistigen Verkrüppelung zum Fachidioten, auf die die gegenwärtige Unterrichtspraxis hinausläuft“ (Bultaup 1975, S. 57). Denn für die geforderte Objektivität wird er den Prozeß der Unterdrückung seiner Bedürfnisse und Subjektivität ertragen müssen; der unübersichtlichen Stofffülle kann er nur mit Vertrauen in die wissenschaftliche Kompetenz des Lehrers und Aufgabe seines selbständigen Erkenntnisstrebens beruhigt entgegensehen; die Ausführung der immer gleichen vorgegebenen Arbeitsschritte schleifen schablonenhaftes Denken und inhaltsleeren Schematismus ein.

Fachidiot oder Niete – zwei extreme Schülerreaktionen auf die Fachborniertheit des naturwissenschaftlichen Unterrichts!

### **1.3 Naturwissenschaftliches Desinteresse und dessen Folgen**

Die Kritik der vorherrschenden Unterrichtspraxis weist allerdings über das unterrichtsimmanente Interesse der Verbesserung der Schülermotivation hinaus – sie spricht in letzter Konsequenz ein Politikum an.

Erziehung, mit S. Bernfeld verstanden als „die Summe der Reaktion einer Gesellschaft auf die Entwicklungstatsache“ (Bernfeld 1973, S. 51) intendiert nicht allein die persönliche Entwicklung eines Schülers, sondern schafft durch die Vermittlung von Wissen, Fähigkeiten und Verhaltensdispositionen die subjektiven Voraussetzungen für den Fortbestand und die Weiterentwicklung der Gesellschaft. Die in der Schule, als Institution der Vergesellschaftung der Erziehung, stattfindenden Lernprozesse erhalten somit eine grundlegend politische Qualität, da es u. a. von ihnen abhängt, ob die Schüler in die Lage versetzt werden, gemäß den in der aufgeklärten Bildungspolitik als anstrebenswert geltenden Zielen einer emanzipatorischen Erziehung (vgl. z.B. Raith 1973; Niedersächsische Kultusminister 1973; Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder 1974) „jede Form von Herrschaft und jede Form ungerechtfertigter, unvernünftiger und irrationaler Abhängigkeit“ (Walter 1973, S. 21) zu durchschauen und gegebenenfalls zu bekämpfen, oder ob sie sich zu Erwachsenen entwickeln, die sich unreflektiert in die als schicksalhaft empfundenen vorgegebenen Lebensumstände einpassen, selbst um den Preis der „Entrechtung, Entwürdigung und Beleidigung“ (Bloch).

Das einleitend beschriebene und motivationstheoretisch begründete Problem der Distanz von Schülern zu den naturwissenschaftlichen Unterrichtsinhalten offenbart somit einen entscheidenden, über die Einschränkung des fachlichen Qualifikations-

niveaus hinausweisenden Mangel. Denn in dem Maße, wie die wissenschaftlich-technische Entwicklung die zukünftigen und gegenwärtigen Lebens- und Arbeitszusammenhänge der Schüler beeinflusst, wird ein umfangreiches Wissen – Sachkompetenz – notwendig, um die Probleme der sozialen Umwelt zu verstehen und die sie betreffenden politischen Entscheidungen anzustreben, mitzutragen oder zumindest nachzuvollziehen. Da in hochindustrialisierten Gesellschaften immer intensiver naturwissenschaftliche Erkenntnisse – materialisiert in Technik – Einfluß auf die Umwelt des Menschen nehmen, wird die Fähigkeit, sich naturwissenschaftlich-technische Orientierung verschaffen zu können, eine immer dringlichere Voraussetzung politischer Partizipation. Nur so kann der Gefahr entgegengewirkt werden, daß auf der Basis technologischer Zweckrationalität unter Berufung auf angebliche Sachzwänge sich einseitig politische Interessen durchsetzen. Nicht umsonst betont H. O. Vetter, daß verhindert werden muß, „daß die arbeitenden Menschen eines Tages der autoritären Herrschaft wissenschaftsmächtiger Bürokraten ausgeliefert würden“ (Vetter 1974, S. 311).

Neben den als Sachkompetenz oder Orientierungswissen zu beschreibenden kognitiven Fähigkeiten bedarf es der Bereitschaft, das als richtig erkannte zu tun und gegen Widerstände durchzusetzen. Selbstvertrauen in die eigenen Erkenntnisfähigkeiten sowie Qualifikationen zum interessen geleiteten Handeln im gesellschaftlichen Konfliktzusammenhang umreißen die sozial-affektiven Dimensionen einer politisch bewußten Auseinandersetzung mit den sich in der gesellschaftlichen Realität materialisierenden naturwissenschaftlichen Erkenntnissen.

Im Hinblick auf diese notwendigen Fähigkeiten zur politischen Teilhabe am Reproduktionsprozeß der hochindustrialisierten Gesellschaften, in denen nach Habermas naturwissenschaftliche Fähigkeiten in dem Maße politische Machtpotentiale darstellen, wie politische Entscheidungen den angeblichen Sachzwangcharakter komplexer Produktionstechnologien berücksichtigen müssen (Habermas 1977), sind die oben beschriebenen Auswirkungen eines fachbornierten naturwissenschaftlichen Unterrichts auf die politische Sozialisation der Schüler folgenswer und zwar unabhängig davon, ob sie sich in affektiver Distanz der Schüler zu den Fachinhalten ausdrücken oder die unkritische, Scheinkompetenz darstellende Reproduktion von naturwissenschaftlichen Partialkenntnissen begünstigen: Entmutigung als Reaktion auf die scheinbare Unzugänglichkeit naturwissenschaftlicher Sachverhalte und Desinteresse an naturwissenschaftlichen Fragestellungen verhindern ebenso die Erkenntnis und bewußte Verarbeitung der sich in der Gestaltung der gesellschaftlichen Arbeits- und Lebensverhältnisse ausdrückenden politischen Dimension der Naturwissenschaften wie Wissenschaftsgläubigkeit, Verinnerlichung der Scheinobjektivität sachlogischer Denk- und Erziehungsmuster und mechanische Reproduktion von Fakten und Gesetzeswissen.

Gerda Freise berichtet als Ergebnis einer Befragung 16 bis 18jähriger Schüler zu einem in der ZEIT veröffentlichten Artikel über die Rheinverschmutzung, daß die Schüler „den vorliegenden Artikel z. B. nicht ausreichend verstehen und beurteilen konnten, daß sie nicht glaubten, die nötige Sachkompetenz zu besitzen, um sich etwa an der öffentlichen Diskussion beteiligen zu können. Und zwar nicht, weil sie keinen



oder zu wenig naturwissenschaftlichen Unterricht gehabt haben, sondern weil sie einen rein auf die Errungenschaften der Fachwissenschaft bezogenen Unterricht haben“ (Freise 1971, S. 384f.)

Die politische Kritik an dem „heimlichen Lehrplan“ des naturwissenschaftlichen Unterrichts zeigt den Ansatzpunkt für einen emanzipativ orientierten naturwissenschaftlichen Unterricht auf: Wenn es gelingt, den Schülern den Zusammenhang der Naturwissenschaften mit ihren Lebensumständen aufzuhellen, d.h. die politische Dimension der Naturwissenschaften erfahrungsbezogen zu vermitteln, ist die Basis für die Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Erkenntnisinteresses geschaffen, daß die selbstbestimmte Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Sachverhalten anleitet.

Damit soll nicht einer ungerechtfertigten politischen Manipulation das Wort geredet werden, i. G.: Es wird zu zeigen sein, daß dieser Ansatz dem naturwissenschaftlichen Unterricht den Schleier politischer Neutralität entreißt und die politisch sozialisierende Wirkung eines jeden Unterrichts offenlegt, indem er sie bewußt verwirklicht.

## **2 Bedingungen politischer Sozialisation in der Schule**

### **2.1 Politische Erziehung zwischen Emanzipation und heimlichem Lehrplan**

Der Versuch, politisches Lernen als einen geplanten Erziehungsprozeß zu verwirklichen, setzt eine grundsätzliche Einschätzung des vorhandenen oder durch Erziehung anzustrebenden Verhältnisses des Individuums zur Gesellschaft voraus. Als normative Erziehung ist sie an einem Entwurf der Gesellschaft orientiert, mit dem Ziel, Handlungsmöglichkeiten und Einstellungen zu fördern bzw. zu entwickeln, die als persönlichkeitsstrukturelle Eigenschaften das subjektive Korrelat zu den angestrebten gesellschaftlichen Verhältnissen bilden. Aus der politischen Grundentscheidung leiten sich die inhaltlichen Bestimmungen der obersten Lernziele, Erziehungsaufträge etc. ab, die als Richtschnur und Bezugskriterium für methodische und didaktische Entscheidungen in der Unterrichtsgestaltung wirksam werden müssen.

Die in Rahmenplänen und anderen bildungspolitischen Leitlinien festgelegten Zielsetzungen für die Erziehung in der Schule orientieren sich an dem Legitimationsanspruch der bürgerlich-parlamentarischen Gesellschaft, als demokratisches Gemeinwesen nicht nur die politische Zustimmung der in ihr lebenden Individuen einzuholen, sondern durch deren politische Mitarbeit in Form von Teilhabe an politischen Entscheidungsprozessen und Machtausübung gestaltet zu sein.

So fordert die Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder, daß die Schule „zu selbständigem kritischen Urteil, eigenverantwortlichem Handeln und schöpferischer Tätigkeit befähigen soll“ (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder

1974, S. 2) und im Bildungsbericht der Bundesregierung 1970 sind „Chancengleichheit und Selbstbestimmung“ als Grundsätze für die bildungspolitische Entwicklung der nächsten Jahrzehnte festgelegt (vgl. Lenhart 1972, S. 27).

Mit Zielformulierungen wie:

„Der Schüler soll erfahren, daß der Grund auf dem wir stehen, ... auch grund zur Veränderung sein kann“ (Senator für Bildung 1973, S. 3); „Erziehung bedeutet das schrittweise Hinführen des jungen Menschen zur Mündigkeit“ (Senator für Schulwesen, o. J. a, S. 1); „Befähigung zur Selbst- und Mitbestimmung“ (Hessischer Kultusminister 1973, S. 7); „... selbständiges Handeln und Urteilen ermöglichen“ (Behörden für Jugend, Schule, Bildung, Hamburg 1973 a, S. 4); „... Vermittlung der Grundlagen für die Entwicklung des eigenen Standpunktes und für die Bereitschaft zur Verantwortung“ (Ministerium für Kultur und Sport – Baden-Württemberg, 1979, S. 2) weisen die Rahmenkonzeptionen der Länder Ansatzpunkte für eine politische Erziehungspraxis auf, die die Emanzipation des Menschen aus von ihm nicht kontrollierbaren Herrschaftsverhältnissen anstrebt.

Das Bemühen, politische Erziehung in der Schule im Sinne dieser erstrebenswerten Zielsetzungen zu betreiben, käme der Arbeit des Sisyphos gleich, wenn nicht der gesellschaftspolitische Charakter demokratischer Erziehungspostulate bedacht wird, die als Realität unterstellen, was erst im mühsamen Ringen mit den Bedingungen der schulischen Realität geschaffen werden muß.

Als einer Veranstaltung des Staates, der in der bürgerlich-parlamentarischen Gesellschaft ein sich durch Massenloyalität legitimierender Garant für den gesellschaftlichen Reproduktionsprozeß darstellt (Altvater 1972; Offe 1973), kommt der Schule die Aufgabe zu, neben der selektiven, statuszuweisenden Vermittlung von Grundqualifikationen für den arbeitsteilig und hierarchisch gegliederten Produktionsprozeß Verhaltensdispositionen und kognitive Orientierungen herauszubilden, die die Schüler in die von Abhängigkeit, Konkurrenz und Deprivilegierung strukturierten Verkehrsformen der kapitalistischen Gesellschaft einpassen (Fend 1974; Huiskens 1972; Gröll 1975; Preuß 1975).

Freilich darf die in diesem Sinne sich durchsetzende Funktionalität des schulischen Sozialisationsprozesses nicht auf der Basis eines deterministischen Ableitungszusammenhangs begriffen werden, gleichsam als Reflex des Staates auf kapitalistische Qualifikations- und Integrationserfordernisse.

Der Staat als „eine scheinbar über der Gesellschaft stehende Macht“ (Engels 1969, S. 165) erreicht in parlamentarischen Demokratien soziale Stabilität unter anderem durch den Versuch, einen allgemeinen Konsens über die politische Legitimität gesellschaftlicher Strukturen und Institutionen herzustellen.

Der schulische Sozialisationsprozeß hat dementsprechend einen grundsätzlich widersprüchlichen Charakter: Während er tatsächlich die für die Reproduktionsfunktion gesellschaftlicher Verhältnisse erforderlichen Integrations- und Qualifizierungsleistungen gewährleisten soll, muß er ideologisch mit den aus der demokratischen Verfassung abzuleitenden Ansprüchen, zur Demokratisierung und Humanisierung der Gesellschaft beizutragen, zu rechtfertigen sein. In diesem strukturellen Legitimationsproblem der Staatstätigkeit liegt die gesellschaftliche Ursache für die

von Bourdieu und Passeron betonte „relative Autonomie“ des Bildungssystems, die es ermöglicht, daß es „unter dem Anschein von Neutralität und Unabhängigkeit ihm äußerliche Funktionen erfüllen kann, das heißt, daß es seine soziale Funktion tarnt, um sie desto besser zu erfüllen“ (Bourdieu/Passeron 1974, S. 124).

Somit ist die Wirklichkeit politischer Sozialisation in der Schule weder als Folge eines unmittelbaren Einflusses gesellschaftlicher Herrschaftsmacht zu verstehen, noch als Ausdruck eines gutwilligen, sich in demokratischen Postulaten ausdrückenden Bewußtseins der Administration zu interpretieren, sondern muß in seiner Wirksamkeit aus den sich im Schulalltag ausdrückenden Widersprüchen zwischen Ansprüchen an die Schule und ihren Realisierungsbedingungen erklärt werden. Letztere schaffen ein Lernfeld, von dem Bernfeld sagt: „Die Schule – als Institution – erzieht. Sie ist zum wenigen einer der Erzieher der Generation ... die zum Hohne allen Lehr- und Erziehungsprogrammen, allen Tagungen, Erlässen, Predigten – aus jeder Generation eben das machen, was sie heute ist, und gerade nach jenen Forderungen und Erlässen ganz und gar nicht sein dürfte.“ (Bernfeld 1973, S. 28).

Dieses – mittlerweile wohl zu Recht als klassisch zu bezeichnende – essential der Theorie eines heimlichen Lehrplans bildet die Grundlage für Untersuchungen über Bedingungen und Folgen schulischer Sozialisation, die ideologiekritisch versuchen, darzulegen, wie durch institutionelle und unterrichtsorganisatorische Bedingungen des sozialen Erfahrungsfeldes Schule Verhaltensweisen und Handlungsdispositionen eingeschliffen werden, die entgegen den legitimatorischen Erziehungspostulaten eine Einpassung der Schüler in demokratisch nicht zu rechtfertigende Herrschaftsstrukturen der Klassengesellschaft begünstigen (Tillmann 1976; Zinnecker 1975; Beck 1974; Nyssen-Rolff 1974).

Die Einsicht in die Existenz und Wirkung eines heimlichen Lehrplans ist eine entscheidende Voraussetzung für eine geplante politische Erziehung, da mit ihr das politische Lernen in der Schule hinter dem Rücken der daran beteiligten und davon betroffenen Lehrer und Schüler hervortritt und somit erst Gegenstand eines intentional begründbaren Lernprozesses werden kann.

In diesem Zusammenhang läßt sich die im Widerspruch zur schulischen Realität angelegte emanzipatorische Potenz der legitimierungserheischenden Erziehungspostulate entfalten: Als politisch einklagbarer Anspruch an die Schule beinhalten sie eine quasi selbstkritische Dimension gegenüber der bürokratisch verordneten Schul- und Unterrichtsorganisation und bieten dem einzelnen Lehrer die schulrechtliche Absicherung für pädagogisches Handeln, das sich über die normativen Einschränkungen fachbornter Lehrpläne und starrer Fächereinteilung hinwegsetzt.

Mit dem folgenden Versuch, anhand von Arbeiten zur Didaktik und Methodik der politischen Bildung in der Schule Prämissen für die Initiierung politischer Lernprozesse herauszuarbeiten und diese mit der Unterrichtsrealität zu konfrontieren, soll ein methodisch-didaktischer Bezugsrahmen für die politische Kritik eines fachwissenschaftlich bornierten naturwissenschaftlichen Unterrichts gefunden werden, mit dem Ziel, Entscheidungskriterien für die inhaltliche und methodische Planung politischer Lernprozesse in der Schule zu entwickeln.

## 2.2 Methodisch-didaktische Bedingungen politischen Lernens

Eine unterrichtspraktisch motivierte Beschäftigung mit Theorien zur politischen Bildung kann nicht zum Ziel haben, aus der Fülle der vorhandenen Ansätze durch analytischen Vergleich eine „richtige“ Konzeption herauszuschälen.

Dieses ist weder praktisch erstrebenswert, da es die Gefahr mit sich bringt, situationsreflektierte didaktische Kreativität des engagierten Lehrers im didaktischen Schematismus zu ersticken, noch wäre dieses Vorgehen theoretisch zu rechtfertigen: Zwar gibt es eine Reihe von Bemühungen, die methodisch-didaktischen Beiträge zur politischen Erziehung in Phasen, Etappen usw. zu systematisieren (Mickel 1967; Sutor 1971; Messerschmid 1970), doch „in der theoretischen Diskussion und ganz besonders in der Schulpraxis haben alle unter solchen Gesichtspunkten als ‚früher‘ geltenden Richtungen bis heute ihre Auswirkungen“ (Schmiederer 1972, S. 11). Becker, Herkommer, Bergmann meinen gar, von einer „synkretistischen“ Theoriebildung sprechen zu können, die sich in der Tendenz ausdrückt, „alle bisher in der Debatte um die Erziehungsziele vorkommenden Argumente und Ansichten ... zu berücksichtigen“ (Becker, Herkommer, Bergmann 1970, S. 10).

Allerdings heißt das nicht, daß Beliebigkeit Auswahlkriterium für die inhaltliche und methodische Gestaltung politischer Lernprozesse sein könne. Der emanzipative Erziehungsauftrag schließt eine Orientierung an jenen Ansätzen aus, deren gesellschaftspolitische Prämissen zu von Gottschalch als „politische Normierung“ (Gottschalch 1973, S. 16) bezeichneten Zielsetzungen führen, die auf eine Einpassung der Schüler in bestehende Verhältnisse abzielen<sup>2</sup>.

In Bezug auf die konkret-historische Situation einer Gesellschaft impliziert eine politische Bildungsabsicht in dem Maße Parteilichkeit, wie gesellschaftliche Strukturen dem abhängig arbeitenden Teil der Bevölkerung eine Realisierung der historisch möglichen individuellen Freiheiten in der Gestaltung der Lebens- und Arbeitssituation vorenthalten und dieses ideologisch gerechtfertigt wird.

Eine emanzipatorische Erziehung von Schülern, deren zukünftige Teilhabe am gesellschaftlichen Produktions- und Reproduktionsprozeß sich in der Regel in der Form abhängiger Arbeit realisieren wird, muß sich an folgenden Zielbestimmungen orientieren:

- Der Schüler muß inhaltliches Wissen und intellektuelle Fertigkeiten vermittelt bekommen, die ihn in die Lage versetzen, analytisch seine Position im gesellschaftlichen Kontext zu begreifen, sie als historisch geschaffen und daher veränderbar zu erkennen und Strategien für ihre Veränderung zu entwickeln (kognitive Dimension).

---

<sup>2</sup> Zu diesen Ansätzen zählen z.B. die auf der Grundlage harmonisierender Gesellschaftsauffassungen entwickelten neo-nationalistischen Ansätze von Lemberg, Hornung und Raasch (vgl. Schmiederer 1972, S. 76ff.) oder das am Maßstab der Humanisierung orientierte aber reale Machtverhältnisse außer acht lassende Konzept der Partnerschaftserziehung von Oetinger (Oetinger 1956).

- Da interessengeleitetes Handeln konfliktproduzierend ist, muß der Schüler persönlichkeitsstrukturelle Dispositionen erwerben, die es ihm ermöglichen, seine Interessen und Bedürfnisse anzuerkennen, sie zu äußern und das für ihre Realisierung als notwendig Erkannte zu tun, auch gegen den Widerstand ökonomischer und politischer Machttträger (sozial-affektive Dimension).
- Letzteres wird erleichtert, wenn der Schüler es lernt, zur Durchsetzung seiner Interessen solidarisch mit Gleichbetroffenen zusammenzuarbeiten, d.h. seine individuellen Zielvorstellungen im Rahmen kollektiver Aktionsformen zu verwirklichen (handlungsorientierte Dimension).

Mit der soeben vorgenommenen Dimensionierung ist neben der inhaltlichen Richtung des Lernprozesses ein methodisch bedeutsamer Aspekt der Initiierung politischen Lernens angesprochen. Als ein die gesamte Persönlichkeit umfassender Prozeß verändert politisches Lernen nicht nur die intellektuelle Qualifikation eines Individuums (kognitive Kompetenz) sondern wirkt ebenso auf dessen Handlungsqualifikationen und Verhaltensmöglichkeiten, mit dem Ziel, die soziale Kompetenz zu erweitern. „Oft kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, als herrsche noch die naive Meinung, die nötige theoretische Einsicht in Emanzipation genüge schon zu ihrer Realisierung. Was an indirekter Verhaltensbildung praktisch immer schon geschieht, wird ebensowenig in seiner ganzen Bedeutung genommen, als Möglichkeiten vorgeschlagen und erprobt werden, eben bei dieser Verhaltensbildung zu beginnen“ (Heintel 1977, S. 136).

Die Auswahl von Lerninhalten zur Erweiterung der intellektuellen Qualifikationen darf daher nicht allein kognitiv verengend an der inhaltlichen Struktur des Lerngegenstandes orientiert sein, sondern muß neben motivationalen Überlegungen methodische Vermittlungsmöglichkeiten bedenken, und zwar nicht mit einem lediglich produktorientierten Interesse, das vom angestrebten Lernziel ausgehend eine Optimierung der für die Realisierung notwendigen kognitiven Prozesse anstrebt. Indem der Lernprozeß zum zweckorientierten Mittel für die Realisierung inhaltlicher Lernziele reduziert wird, gerät die vom Lernprozeß als eine unter bestimmten sozialen Rahmenbedingungen und Interaktionsstrukturen erfolgende Auseinandersetzung des Individuums mit seiner Umwelt ausgehende sozialisierende Wirkung außer acht.

Damit ist ein Anknüpfungspunkt für die oben behauptete Wirksamkeit eines schul- und unterrichtsorganisatorisch bedingten heimlichen Lehrplans gegeben: Selbst der progressive Inhalt kann zum Vehikel affirmativen Lernens werden, wenn durch die Form seiner Vermittlung die in der Schule angelegten Bedingungen fremdbestimmten Lernens aktualisiert werden.

So bleiben die intellektuell abfragbaren Ergebnisse eines unter inhaltlichen Gesichtspunkten aufklärerisch-kritischen Unterrichts für die politische Emanzipation der Schüler folgenlos, wenn die methodische Gestaltung des Unterrichts ein nachhaltiges Desinteresse an politischen Fragestellungen produziert und damit zu der von Schuch vermuteten Entpolitisierung beiträgt, die von einer „politischen Erziehung des traditionellen Stils“ (Schuch 1978a, S. 15) ausgeht. Selbst eine

qualifizierte Kritik der bürgerlichen Leistungsideologie kann, erfolgt sie extrinsisch durch die zu erwartende Zensur motiviert, ein Schritt zu ihrer individuellen Verankerung sein, und die emanzipative Potenz von Wissen geht verloren, wenn die Internalisierung des Kompetenzgefälles zwischen Lehrer und Schüler zu Autoritätsgläubigkeit und wissenschaftsorientierter Fremdbestimmung führt und das Selbstvertrauen in die eigene Entscheidungs- und Handlungskompetenz zerstört.

An die Auswahl und Aufbereitung der Inhalte politischen Lernens ist somit ein komplexer Maßstab anzulegen: Einerseits soll der Unterrichtsgegenstand geeignet sein, sowohl die Sachkompetenz der Schüler zu erweitern als auch intellektuelle Fertigkeiten wie Systematisierungs- und Abstraktionsvermögen, Denkflexibilität und Problemlösungskreativität zu fördern, andererseits muß er einen Vermittlungsprozeß gewährleisten, der das Lernen nicht zu einem Sozialisationsprozeß unter der Regie des heimlichen Lehrplans werden läßt. Das setzt voraus, daß für den Schüler der Unterrichtsgegenstand in seiner lebensgeschichtlichen Bedeutung erkennbar und somit zum Objekt eines an den Erfahrungen ansetzenden und von den eigenen Interessen geleiteten bewußten Erkenntnisprozesses werden kann. „Eine emanzipatorische Wirkung kann nur eintreten, wenn der Unterricht für den Schüler nicht ‚gleichgültig‘ bleibt, d.h. wenn der Schüler sich selbst in den Themen wiederfindet, wenn er sich ständig selbst mitdenken muß“ (Schmiederer 1971, S. 104).

Im Lernprozeß muß sich daher das subjektive Interesse des Schülers mit der durch seine Bedeutung für eine reflektierte Umweltbewältigung gegebenen objektiven Struktur der Lerninhalte treffen. „Politische Erziehung hat demnach sowohl subjektive als auch objektive Realität einzubeziehen und entsprechend zu berücksichtigen“ (Schuch 1978b, S. 32).

Der Zusammenhang des emanzipatorischen Bildungswertes eines Unterrichtsinhaltes mit den Interessen der Lernenden wird auch von O. Negt hervorgehoben, der in seinem Versuch, das Prinzip des exemplarischen Lernens soziologisch fundiert für eine emanzipative Arbeiterbildung fruchtbar zu machen, drei Prämissen bei der Auswahl der Unterrichtsgegenstände betont. Zwar vertritt Giesecke die Auffassung, Negts erwachsenenpädagogischer Ansatz lasse Rückschlüsse auf die schulische politische Bildung nicht zu (Giesecke 1976, S. 97), doch bezieht sich Negt in diesem Punkt ausdrücklich auf die seiner Meinung nach durch fehlenden Interessesbezug verschuldete mangelnde Wirksamkeit der politischen Bildung an den Schulen.

Nach Negt ist der Bildungswert der Inhalte von drei Bedingungen abhängig: „ihre Nähe zu den unmittelbaren Interessen, den inhaltlich über die unmittelbaren Interessen hinausweisenden Elemente des (Arbeiter-) Bewußtseins, die allgemeine gesellschaftliche Zusammenhänge betreffen und schließlich die Bedeutung, die den Bildungsgehalten für die Emanzipation des Arbeiters zukommt“ (Negt 1975, S. 97). Bezogen auf die inhaltliche Auswahl von Lerngegenständen bedeutet dieses: Sie müssen in einem erkennbaren und erfahrbaren Zusammenhang zu unmittelbaren Interessen und Bedürfnissen stehen. Da diese jedoch nicht als individuell gewachsen begriffen werden dürfen sondern infolge sozialer Prägung unter konkreten historisch-gesellschaftlichen Bedingungen entstanden sind, muß der Inhalt die

Möglichkeit bieten, bereits vorhandene abstraktere Einsichten über die gesellschaftliche Umwelt zu thematisieren und weiterzuentwickeln.

In der didaktischen Diskussion um politisches Lernen in der Schule wird versucht, diese Kristallisationspunkte von subjektiver und objektiver Realität durch das Prinzip des Lernens an „Fällen“ (Fischer 1975) „Konflikten“ (Giesecke 1976), „Lebenszusammenhängen“ (Nitzschke 1975) zu erreichen.

Das Ziel, dem Schüler zu ermöglichen, vor dem Hintergrund der Thematisierung objektiver gesellschaftlicher Gegebenheiten seine subjektive Position wiederzufinden, sie zu problematisieren und so bewußt gemacht, neu zu formulieren, hat Konsequenzen für die Unterrichtsgestaltung, denn eine emanzipativen Ansprüchen genügende Sachkompetenz kann nicht durch autoritäre Lehrervorgaben und entsprechend rezeptivem Schülerverhalten erworben werden. „Die auf Emanzipation und Demokratisierung gerichtete Politische Bildung darf zwischen Form und Inhalt, zwischen Bildungszielen und der Art ihrer Vermittlung nicht trennen“ (Schmiederer 1971, S. 134). Zudem sind Selbständigkeit, Bereitschaft zum Engagement, Anwendung rationaler Konfliktstrategien Verhaltensqualifikationen, die für eine als notwendig begründete Sozialkompetenz grundlegend sind und durch die Wahl entsprechender – schülerzentrierter – Sozialformen im Unterricht gefördert werden können.

Ebenso wie die kognitive Kompetenz mit den Dimensionen inhaltliches Wissen und intellektuelle Fähigkeiten zwei Ebenen umfaßt, beinhaltet die soziale Kompetenz zwei Komponenten: Um vorhandene politische Qualifikationen anzuwenden, bedarf es der Bereitschaft, eine Situation als durch eigenes Engagement veränderbar anzusehen. Neben der Herausbildung von Verhaltensweisen ist daher der Aufbau von Bereitschaft, die Verhaltenspotentiale zu aktualisieren, d. h. die affektive Seite der Sozialkompetenz, anzustrebendes Ziel des politischen Lernens im Unterricht. Freilich lassen sich beide Komponenten nur analytisch trennen; in ihrer handlungsleitenden Eigenschaft sind sie in der Interaktion unmittelbar miteinander verbunden. Die Herausbildung der affektiven Basis erfordert eine flexible, die Eigeninitiative der Schüler fördernde Unterrichtsgestaltung. In dem Maße wie die Schüler einen Impuls aufgreifen und das durch diesen angedeutete Problem durch Einbringen eigener Fragestellungen zu ihrem eigenen machen, wird nicht nur die hervorgehobene Motivationswirkung erfahrungsbezogener Inhalte entfaltet; zudem entwickeln die Schüler durch die Erfahrung der eigenen Leistungsfähigkeit bei der Strukturierung eines Problems und dessen Lösungsweges Selbstvertrauen, was wiederum Voraussetzung für die engagierte Auseinandersetzung mit ihrer sozialen Umwelt ist.

Unter diesen Voraussetzungen ist der Verzicht des Lehrers auf einen nach Effizienzkriterien gestalteten „straffen“ Unterricht wirksamer als der Versuch, in knapper Zeit möglichst viele Informationen zu vermitteln. Hier gilt das Prinzip „weniger ist mehr“, denn „das Erfolgserlebnis beim Begreifen gesellschaftlicher Vorgänge und Zusammenhänge ist sicherlich die beste Motivation für weitere Arbeit“ (Schmiederer 1971, S. 137).

Um Sachkompetenz und Engagementbereitschaft realisierbar werden zu lassen, ist

bei den Schülern die Fähigkeit zur sachlichen Auseinandersetzung mit verschiedenen Interessen, Meinungen usw. zu üben. Dabei bildet die Verbalisierungsfähigkeit eine zentrale Position für die Entwicklung politischer Handlungsstrategien, denn erst wenn ein Eigeninteresse von dem unmittelbar emotionalen Bereich mit Hilfe sprachlicher Vermittlung abgetrennt in den sozialen Kontext eingebracht werden kann, ist das Individuum in der Lage, distanziert seine eigenen Positionen an anderen zu relativieren, Alternativen zu durchdenken und gegebenenfalls neu zu begründen.

Verhaltensdispositionen wie Selbständigkeit im Problemlösen, Vergleich verschiedener Standpunkte, kooperative Zusammenarbeit finden in der Gruppenarbeit ihre höchsten Anforderungen. Daher sollten die Schüler frühzeitig – zunächst durch die Erarbeitung bzw. Auswertung kurzer Texte, Tabellen etc. – mit dieser Sozialform vertraut gemacht werden.

Die hier erörterten inhaltlichen und methodischen Implikationen politischer Bildungsabsichten untermauern – gleichsam im Umkehrschluß – die im vorherigen Abschnitt behauptete politisch sozialisierende Wirkung von jedem Unterricht.

In der persönlichkeitsstrukturell umfassenden Zielsetzung politischer Erziehung – von Giesecke mit der Forderung nach einer „Fundamentaldemokratisierung“, d. h. „Demokratisierung aller menschlichen Beziehungen“ (Giesecke 1976, S. 126) auf den Begriff gebracht – beinhaltet jede Interaktion im Unterricht politisch bildende Momente:

Entweder realisieren sich in ihr hierarchische und/oder Konkurrenzbeziehungen, so daß die Interaktion zu einer außerhalb der Kontrolle des Bewußtseins stattfindenden Gewöhnung an die zugrundeliegenden Unterordnungs- und Konkurrenzstrukturen beiträgt, oder sie bieten dem Schüler Erfahrungsmöglichkeiten für demokratische Verkehrsformen und bauen somit das Bedürfnis auf, eine soziale Situation nicht als Ausdruck unhinterfragbarer Macht- und Herrschaftsstrukturen zu ertragen, sondern durch bewußtes Einbringen eigener Interessen und Bedürfnisse zu gestalten.

Dieses setzt wiederum auf intellektueller Ebene die Erkenntnisfähigkeit der gesellschaftlichen Bedingtheit individueller Lebensumstände voraus, so daß auch jedem Unterrichtsinhalt politische Wirkung zukommt, da er eine normative Orientierung über den tatsächlichen Zweck des Lernprozesses beinhaltet: Während der Schüler die ohne Bezug zu seinen Lebensumständen dargebotenen Inhalte i. w. als abstrakte Leistungsforderung erfährt und sich dieser nach Abwägung der institutionellen Sanktionsmöglichkeiten anpaßt oder verweigert, bietet eine an den Erfahrungen der Schüler ansetzende Wissensvermittlung die Möglichkeit, den Lernprozeß auf der Grundlage konkreter Erkenntnis- und Verwertungsinteressen zu motivieren und somit die intellektuellen Voraussetzungen für die Erkenntnis der sozialen Bedingtheit und somit Veränderbarkeit der erfahrenen Lebensumstände aufzubauen.



### **3 Fachwissenschaft und Fachdidaktik unter dem Aspekt politischen Lernens**

#### **3.1 Die Ideologie vom kritischen Bildungsgehalt naturwissenschafts-immanenter Lerninhalte**

Um die erzieherische Bedeutung des naturwissenschaftlichen Unterrichts hervorzuheben, ist es selbstverständlich geworden, dem Unterricht neben der Vermittlung von Sachinformationen einen Beitrag zur Herausbildung kognitiver Qualifikationen wie kausalanalytisches Denken, Abstraktionsvermögen, Wahrnehmungsfähigkeit für komplexe Sachzusammenhänge u.ä. zuzuschreiben (Wenzel 1978; Heyner 1973; Wiesemes 1973; Nöding 1973).

Wie zu zeigen versucht wurde, muß ein Unterricht in emanzipativer Absicht die Herausbildung reflexiver Kompetenz anstreben, zu der neben fundierter Sachkenntnis auch die Beherrschung kognitiver Prozesse gehört, die es ermöglichen, das Faktenwissen für die jeweils zu bearbeitenden Fragestellungen, Probleme u.ä. anzuwenden. Unter anderem gehören dazu: Abstraktions- und Systematisierungsvermögen, um aus dem komplexen und anfänglich unstrukturierten Problem die prägnante Fragestellung zu entwickeln; Flexibilität im Denken bei der Suche nach Lösungsmöglichkeiten; Fähigkeit zur selbstkritischen Einschätzung bei der Bewertung der Brauchbarkeit gefundener Strategien zur Problemlösung.

Auf den ersten Blick scheint der naturwissenschaftliche Unterricht mit Methoden wie Hypothesenbildung und Überprüfung, Problemstrukturierung, Versuchsplanung, die als didaktische Konsequenz aus der Struktur des naturwissenschaftlichen Arbeits- und Erkenntnisprozesses begründet werden, fachimmanente Möglichkeiten zu bieten, durch Einübung komplexer Denkopoperationen den Aufbau eines kritischen Denkvermögens zu fördern.

Demzufolge wäre der durch Hypothesenbildung, Durchdenken von Problemlösungsstrategien, Aufstellen von Verallgemeinerungen etc. geschulte Intellekt in der Lage, die im Fachunterricht erworbenen Denk- und Problemverhaltensweisen auch für die Lösung anderer Probleme anzuwenden. Hat ein Schüler im Fachunterricht gelernt, Beobachtungen kritisch zu hinterfragen, so könnte er in sich geschlossene Argumentationsketten bei politischen Problemen analysieren; ein Schüler, der naturwissenschaftliche Einzelphänomene in den entsprechenden Gesamtzusammenhang zu stellen vermag, würde die verschiedenen Dimensionen und weitreichenden politisch-sozialen Komponenten seiner Alltagsprobleme erkennen.

In didaktisch-methodischen Vorbemerkungen zu Unterrichtsmaterialien wird diese Auswirkung der Arbeits- und Erkenntnismethoden der Naturwissenschaften auf die kognitive Entwicklung der Schüler häufig unterstellt.

So z.B., wenn die Schwerpunktsetzung „eine Einführung in die Arbeits- und Denkweisen der heutigen Chemie zu vermitteln“ mit der notwendigerweise zu gebenden Orientierungshilfe in der technologischen Umwelt begründet wird (Christen 1974a, S. Xf.).Cuny mißt der selbständigen Schülerplanung von Experimenten einen über die naturwissenschaftliche Bildung hinausgehenden „erzieherischen

Wert“ bei (Cuny 1967, S. 2), und Selchow-Wrobel betonen ausdrücklich, daß der naturwissenschaftliche Lernprozeß, mit dem Ziel des Aufbaus von Orientierungshilfen in der naturwissenschaftlich-technischen Umwelt effektiv sei, wenn er vom „Zwang der Sache“ bestimmt würde (Selchow/Wrobel 1972, S. 5).

Auch in Rahmenplänen wird eine, dem naturwissenschaftlichen Arbeitsprozeß immanente Wirksamkeit bei der Ausbildung kognitiver Fähigkeiten hervorgehoben (vgl. Kultusminister von Nordrhein-Westfalen 1973, S. 2; Niedersächsische Kultusminister 1974, S. 28; Ministerium für Kultus und Sport in Baden-Württemberg 1979, S. 170; Behörde für Schule, Jugend, Bildung der Freien und Hansestadt Hamburg 1973b, S. 2).

Vertreter naturwissenschaftlicher Curricula legitimieren ihre Ansätze u. a. ebenfalls mit der Behauptung, der an der Wissenschaftsstruktur geschulte Intellekt versetze den Schüler in die Lage, „sich in seiner Umwelt nicht nur besser zu orientieren, sondern sie zugleich auch in systematischer Weise adäquater zu interpretieren“ (Spreckelsen 1973, S. 93).

Allerdings lassen Ergebnisse lernpsychologischer Studien Zweifel an der Richtigkeit dieser Schlußfolgerungen aufkommen. H. Roth referiert ein Ergebnis von Thorndike, der feststellt, daß der Zuwachs von allgemeinen Denkleistungen nicht im Kausalzusammenhang mit der zunehmenden Beschäftigung mit Naturwissenschaften steht (vgl. Roth 1965, S. 287f.). „Alles Lernen ist spezifischer, d.h. gegenstandsgebundener, als man angenommen hatte“ (ebd. S. 285).

Nach Übertragung auf das hier zu erörternde Problem folgt daraus, daß ein immanent an naturwissenschaftlichen Inhalten entwickeltes kognitives Fähigkeitsniveau nicht ein formales Denkpotehtial darstellt, welches ohne weiteres für andere Bereiche aktualisiert werden kann.

Daher ist den Vorbehalten G. Freises zuzustimmen, „daß der angemessene Transfer naturwissenschaftlicher Arbeits- und Denkmethoden in den allgemeinmenschlichen Bereich eine unbewiesene Vermutung ist“ (Freise 1972, S. 374).

Eher ist als Folge der Gewöhnung an formale Denkopoperationen eine Verhinderung angemessener Realitätserkenntnis zu befürchten, da damit der Auffassung von der gegenstandsimmanenten Objektivität naturwissenschaftlicher Erkenntnis Vorschub geleistet wird, nach der der Wert eines Forschungsergebnisses im wesentlichen durch seine Übereinstimmung mit den als gesichert geltenden Wissensbeständen und der Schlüssigkeit des vorausgegangenen Forschungsverfahrens bestimmt wird. Die technologische Umsetzung naturwissenschaftlicher Forschung in die gesellschaftlichen Arbeits- und Lebenszusammenhänge wird aus dieser Perspektive mit dem Maßstab der „Machbarkeit“ bewertet, der in Abstraktion von den gesellschaftlichen Folgen, Interessen und Voraussetzungen das technologisch Mögliche als das Vernünftige anerkennt, weil es als Produkt eines objektiven Erkenntnisfortschritts gesehen wird.

Ein naturwissenschaftlicher Unterricht, etwa in Anlehnung an das bereits vom Titel her Systematik versprechende Unterrichtswerk von Christen (1976) – „Struktur–Stoff–Reaktion“ –, kann formal noch so gut geeignet erscheinen, durch den sachstrukturellen Aufbau der Informationsvermittlung schlußfolgerndes Denken,

Abstraktionsfähigkeit usw. zu fördern – er wirkt indes einem emanzipatorischen Anspruch entgegen, wenn – wie leider auch in zahlreichen anderen Chemiebüchern üblich (vgl. Cuny/Weber 1975, S. 245 ff.; Grothe 1976, S. 116 ff.; Häusler 1974, S. 116 ff.) – z.B. die Kunststoffchemie lediglich unter dem Aspekt ihrer naturwissenschaftlichen Grundlagen und deren technologischer Umsetzung behandelt wird, Befunde über die gesundheitsschädliche Wirkung des PVC allenfalls am Rande erwähnt werden, und insgesamt das Bild einer großartigen Errungenschaft vermittelt wird, aus dem die sozialen Kosten der Kunststoffproduktion bzw. -verwertung ausgeklammert bleiben: Die unzureichenden Arbeitsschutzmaßnahmen für PVC-Arbeiter im Troisdorfer Dynamit-Nobel Werk (vgl. Koch/Vahrenholt 1978, S. 210 ff.) finden ebenso wenig Beachtung wie die Zurückhaltung eines im Auftrag von vier europäischen Firmen erstellten Gutachtens vor der Öffentlichkeit, in dem die krebserregende Auswirkung von PVC auf Ratten nachgewiesen wurde (vgl. Der Stern vom 21.3.74, S. 164 f.). Mit der Ausklammerung politischer und ökonomischer Voraussetzungen und Folgen der Technologisierung wird das Bewußtsein des Lernenden für die Wirksamkeit der sich immanent legitimierenden Wachstumsideologie vorbereitet: Aus dem Blickwinkel vermeintlich naturwissenschaftlicher Objektivität erscheint Technik als Ausdruck des gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Fortschritts, quantitativ meßbar im Anwachsen von Produktivität und Konsummöglichkeiten.

Mit der Abtrennung der naturwissenschaftlichen Erkenntnis und ihrer Anwendung von den gesellschaftlichen Voraussetzungen werden diese als unveränderbar im Bewußtsein festgeschrieben: Gewöhnt an formale Denkopoperationen und immanenter Logik erduldet man die Auswirkungen der technologischen Entwicklung auf die Lebens- und Arbeitszusammenhänge als sachzwanghaft, statt sich ihrer historischen Bedingtheit und den damit verbundenen Interessen der industriellen Anwender naturwissenschaftlicher Forschungsergebnisse bewußt zu werden.

Selbst Störungen dieser Fortschrittsentwicklung in Form von wirtschaftlichen und ökologischen Krisen stellen nicht die historische Form des Verhältnisses von Naturwissenschaft und Technik in Frage, sondern werden mit externen Ursachen begründet: für die Energiekrise in den hochentwickelten Industrieländern sind die erdölexportierenden Länder verantwortlich, die bedrohliche Störung des ökologischen Gleichgewichts wird auf das Anwachsen der Menschheit zurückgeführt.

Das mit formalen Begriffen und inhaltsleeren Methoden ahistorisch operierende Bewußtsein kann eine Analyse der Realität i. S. der Hinterfragung ihrer Voraussetzungen nicht vornehmen. „Ist jedes Ding auf eine logische Kategorie und jede Bewegung, jeder Produktionsakt auf die Methode reduziert, so folgt daraus, daß jeder Zusammenhang von Produkten und Produktion, von Dingen und Bewegung sich auf eine angewandte Metaphysik reduziert“ (Marx 1977, S. 128). Beispielhaft in einem Schulbuch: „Nur die Selbstbeschränkung auf eine angemessene Geburtenrate kann verhindern, daß die Menschheit eines Tages in ihrem Schmutz erstickt“ (Cuny/Weber 1975, S. 270).

Doch der die Schulung kognitiver Prozesse anstrebende, sachstrukturell konzipierte naturwissenschaftliche Unterricht verhindert nicht nur die Reflexion gesellschaftli-

cher Ursachen naturwissenschaftlich-technischer Einflüsse auf den individuellen Lebenszusammenhang – er macht das Begreifen der Naturwissenschaften selbst unmöglich.

Es gehört heute zum didaktischen Standard, den Lernprozeß möglichst eng an die Struktur naturwissenschaftlicher Forschungsverfahren anzubinden. Die Phasenstruktur einer Unterrichtsstunde sollte möglichst die „Forschungsetappen“ Problemstellung, Hypothesenbildung, experimentelle Überprüfung der Hypothesen, Formulierung der Erkenntnis widerspiegeln. Einen zentralen Stellenwert wird dabei dem Experiment zugesprochen, aus dem der Schüler quasie-forschend die Erkenntnis des jeweiligen Zusammenhangs, Gesetzes etc. gewinnen soll (vgl. Selchow-Wrobel 1970, S. 3; Cuny/Weber 1975, S. 5; Christen 1974b, S. X).

Sieht man einmal von dem didaktisch begründbaren Umstand ab, daß der Schüler im Unterricht ohnehin nicht forscht, sondern bestenfalls einen methodisch flexibel vorstrukturierten Arbeitsprozeß adaptiert, so steckt die Vermittlung einer falschen Vorstellung über die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung im Ansatz selbst, der unterstellt, naturwissenschaftliche Erkenntnisse ließen sich empirisch aus der Beobachtung von Naturvorgängen gewinnen.

Damit wird ein erkenntnistheoretischer Subjekt-Objekt-Determinismus konstruiert, in dem Erkenntnisfortschritt die möglichst weitgehende Annäherung des Denkens an die in der Natur als objektiv vorhanden angenommenen Gesetzmäßigkeiten bedeutet.

Dieser „naive Realismus“ (v. Greiff 1976, S. 9) schreibt dem forschenden Subjekt die Rolle eines passiven Beobachters zu, der nur genau hinschauen bzw. das geeignete Experiment häufig genug ausführen müßte, um Naturgesetzmäßigkeiten zu entdecken. Dabei wird übersehen, daß eine Theorie nicht durch induktives Auswerten oder assoziative Verknüpfungen von Erfahrungen entsteht, sondern die Erfahrungen selbst selektiv, unter einem bestimmten Erkenntnisinteresse, d.h. i. w. S. theoriegeleitet ausgewertet werden.

Das Experiment ist daher nicht lediglich Ausgangspunkt einer Theorie, sondern es setzt als eine unter einem bestimmten Erkenntnisinteresse konstruierte „Befragung“ der Natur eine Vorstellung von dem, was erkannt werden soll, voraus. Naturwissenschaftliche Erkenntnis erfolgt nicht mechanistisch als bloße Offenlegung – gleichsam als kognitive Widerspiegelung – vorliegender Gesetzmäßigkeiten, sondern als ein dialektischer Prozeß zwischen dem forschenden Subjekt und dem Gegenstand seines Erkenntnisinteresses, an dem die Subjektivität in Form von Phantasie, Vorstellungskraft, Spekulation einen produktiven Anteil hat.

Selbst die Existenz eines einfachen Atommodells – wie z. B. des Kugelmodells von Dalton – ließe sich mit dem Verständnis der Naturwissenschaft als eine objektive Erfahrungswissenschaft nicht erklären. Von der Beobachtung Daltons, daß die Lufthülle in den von ihm überprüften Höhen überall das gleiche Mischungsverhältnis aufweist, die im Gegensatz zu der empirisch naheliegenden Vermutung steht, der leichtere Stickstoff würde sich oberhalb des Sauerstoffs konzentrieren, zur Annahme kleinster, kugelförmiger, hochelastischer Teilchen, aus dem die Luft zusammengesetzt sein soll, führt nicht der Zwang sachimmanenter Logik, sondern

zunächst einmal Spekulation auf der Grundlage einer Vorstellung über die Realität, die anschließend experimentell plausibel gemacht werden kann!

An einem Beispiel soll erläutert werden, wie die unterrichtsspezifische Vermittlung der Naturwissenschaften als eine objektive Erfahrungswissenschaft ihr Verständnis behindert:

Es ist allgemeiner Schulbuchinhalt (vgl. Häusler 1976 a, S. 28 f.; Grothe 1976, S. 20; Christen 1974 b, S. 40; Cuny/Weber 1975, S. 14 f.) – und somit wohl auch Schulpraxis – die Existenz des Elementes Sauerstoff im Zusammenhang mit der Auswertung von Verbrennungserscheinungen abzuleiten. Häusler betont ausdrücklich, der Schüler könne „am Beispiel des Verbrennungsvorgangs die naturwissenschaftlich-kritische Arbeitsmethode kennenlernen“ (Häusler 1976 b, S. 37).

Der Lernprozeß ist in der Regel folgendermaßen aufgebaut: Die festzustellende Gewichtszunahme bei der Verbrennung von Eisenwolle bildet das Ausgangsproblem für weitere Betrachtungen. Der so problemorientierte Schüler wird nun mit einem Versuch konfrontiert, bzw. führt ihn selbständig aus, bei dem mit Hilfe von Gasmessglocken oder Kolbenprobern die Verringerung eines vorgegebenen Luftvolumens, in dem eine Verbrennung stattgefunden hat, festgestellt wird. Aus der Volumenminderung um etwa 20 % läßt sich auf die Existenz eines Stoffes in der Luft schließen, der sich mit dem verbrannten Gegenstand verbunden hat (Gewichtszunahme!). Dieser Stoff, so erfährt der Schüler, sei Sauerstoff.

Zugegeben, eine so aufgebaute Stunde ist sehr interessant und motiviert die Schüler, da eine Diskrepanz zu Alltagserfahrungen geschaffen wird, die von der Auffassung herrührt, bei Verbrennungen würden die Stoffe leichter. Aber der Anspruch: „Am Beispiel des Verbrennungsvorgangs wollen wir zeigen, wie der Chemiker schrittweise einen Vorgang aufzuklären versucht,“ (Häusler 1976 a, S. 28) ist irreführend: Der Schüler, der zu Beginn seines Lernprozesses noch nicht weiß, daß am Ende die Erkenntnis der Verbrennung als eine chemische Reaktion mit Sauerstoff steht, lernt, daß Eisenwolle bei der Verbrennung schwerer wird, und daß das Volumen einer vorgegebenen Luftmenge, in der eine Verbrennung stattfindet, sich um etwa  $\frac{1}{5}$  reduziert. Zudem ist ihm gesagt worden, dieses sei auf die Reaktion eines besonderen Bestandteils der Luft, des Sauerstoffs, mit dem brennbaren Material zurückzuführen.

Er kann dieses auswendig lernen, und er wird – ein normales Erinnerungsvermögen vorausgesetzt – sicherlich in der Lage sein, in einem schriftlichen oder mündlichen Test den Stundenverlauf in einem Schema wie Problemstellung, experimentelle Überprüfung, Problemlösung zu reproduzieren. Einen Schritt zur selbständigen Erforschung von Ursachen beobachtbarer Phänomene hat er indes nicht gemacht und konnte dieses auch nicht, denn niemand, der nicht die Existenz des Sauerstoffs voraussetzt, wird eine derartige Versuchsreihe ersinnen. So kommt man nicht zur Entdeckung des Sauerstoffs; dieser Weg setzt das Wissen bzw. zumindest eine Ahnung von seiner Existenz voraus: „Lange bevor Lavoisier (der ‚Entdecker‘ des Sauerstoffs, JK) überhaupt eine Rolle bei der Entdeckung des neuen Gases spielte, war er überzeugt, daß einerseits mit der Phlogistontheorie etwas nicht stimmte und daß andererseits brennende Körper irgendeinen Teil der Atmosphäre absorbierten.

Das hatte er in einer versiegelten Niederschrift dargelegt ... Was nun die Arbeit über den Sauerstoff anging, so gab sie Lavoisiers vorherigem Gefühl, daß etwas nicht in Ordnung sei, wesentlich mehr Form und Gestalt. Sie zeigte ihm, was zu entdecken er schon bereit war ...“ (Kuhn 1978, S. 69).

Ohne zu wissen, was man feststellen will, führt kein logischer, objektiver, sachgesetzlich sich aufdrängender Weg von der Erfahrung der Gewichtszunahme von Metall bei seiner Verbrennung zu einer experimentellen Untersuchung des Verhaltens eines Luftvolumens, in dem eine Verbrennung stattfindet.

Wenn das so wäre, ist nicht einsichtig, warum etwa 100 Jahre lang die Phlogistontheorie als gültig angenommen wurde, nach der alle brennbaren Stoffe besondere Teilchen – Phlogistone – enthalten, die bei einer Verbrennung entweichen würden. Die Zunahme des Gewichtes bei der Metallverbrennung wurde mit dem negativen Gewicht der Phlogistone erklärt.

Und aus der Abnahme des Luftvolumens bei der Verbrennung kann logisch nicht das Wissen um die Existenz des Sauerstoffs gewonnen werden – warum sollte man nicht genauso gut annehmen, der fehlende Teil der Luft sei einfach mitverbrannt. Lediglich die Behauptung der Existenz des Sauerstoffs kann plausibel gemacht werden!

Der Versuch, das Lernen der Naturwissenschaften an der Wissenschaftsstruktur der Naturwissenschaften zu orientieren, muß scheitern, weil durch die didaktisch notwendige Vorstrukturierung des Erkenntnisprozesses dort der Schein einer sachimmanenten Entwicklungslogik produziert wird – die sich angeblich jedem aufdrängt – wo ursprünglich subjektive Kreativität den Forschungsprozeß weitergebracht hat. Vom Ende her gedacht, das gewünschte Ergebnis im Kopf habend – wie der Forscher, der nach dem sucht, was er beweisen will und der Lehrer, der weiß was er darstellen will, erscheint die Vorgehensweise schlüssig.

Aber für den Schüler, der den Lernprozeß nur reproduktiv als Addition einzelner Schritte nachvollzieht, ihn aber nicht in seiner Entwicklung begreifen kann, muß der Eindruck entstehen, Naturwissenschaften nicht lernen zu können, denn es wird von ihm Einsicht in die sachgesetzliche Entwicklungslogik eines Verfahrens verlangt, obwohl es diese nicht gibt.

Die Arbeit des um Wissenschaftsorientierung bemühten Lehrers ist aufgrund einer falschen Gleichsetzung des Lernprozesses mit dem Prozeß wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung mit der Arbeit des Sisyphos zu vergleichen. Der Schüler wird weiterhin naturwissenschaftliches Wissen nur als Einzelphänomene, die allenfalls in ein vorgegebenes Schema einzuordnen sind, auswendig lernen können.

Damit wird seine Distanz zur Naturwissenschaft gefördert, denn ohne real existierenden Bezugspunkt produziert der Inhalt „den sorgenvollen Ausblick auf kommende unbekannte aber schon lastende Stockwerke“ (Wagenschein 1962, S. 5).

So wird eine für die Machtausübung einer technokratischen Minderheit funktionale Einstellungs- und Verhaltensdisposition der Mehrheit aufgebaut: Da man ohnehin nicht kompetent ist, die sachlich-fachlichen Dimensionen von Entscheidungen zu durchschauen, wird nicht mehr nach ihrer Begründung gefragt. Politische Teilhabe

durch Kontrolle und Mitgestaltung weicht vor passivistischem Rückzug, blindem Vertrauen in die Gerechtigkeit der Wissenden und Resignation.

### **3.2 Politisches Lernen als Leitprinzip didaktischer Akzentuierung**

Im vorigen Abschnitt wurde zu zeigen versucht, daß eine didaktische Orientierung auf die Wissenschaftsstruktur der Naturwissenschaften sowohl das Verständnis der Naturwissenschaften behindert, als auch einer – technokratischen Rechtfertigungsversuchen für bestehende Lebensumstände gegenüber wehrlosen – Wissenschaftsgläubigkeit Vorschub leistet.

Zudem läuft eine solche Vorgehensweise Gefahr, dem naturwissenschaftlichen Unterricht – je nach Schulart und Altersgruppe – entweder den Charakter einer Kurzfassung eines wissenschaftlichen Fachstudiums aufzuzwingen oder ihn zu einem Sammelsurium miraculöser Erscheinungen verkommen zu lassen.

So finden sich in einem für den naturwissenschaftlichen Unterricht an Hauptschulen erarbeiteten Handbuch Inhaltsformulierungen wie: „Das Spiel der Kräfte bestimmt unser Leben. Das Wunder der Flamme. Säuren und Laugen – angriffslustige Gesellen und dienstbare Geister. Geheimnisvolle kleine Lebewesen“ (Völker/Schleip 1968, S. 5).

In einem Arbeitsbuch für Physik und Chemie heißt es in der Übersicht unter anderem: „Ein seltsamer Versuch. Wasser wird eingesperrt. In der Wärme kann es kalt werden. Seltsame Zeichen“ (Schröder 1971, S. 3–6).

Dagegen wird im Vorwort des Lehrbuchs für Gymnasien von Christen die Absicht bekundet, „Freude an der wissenschaftlichen Arbeit ... zu wecken“ (Christen 1974 a, S. XI). Höfling begründet die Gestaltung seines für die gymnasiale Oberstufe konzipierten Unterrichtswerkes ausdrücklich mit den Anforderungen des späteren fachwissenschaftlichen Studiums (vgl. Höfling 1976, S. III–V), und in einem Standardwerk für den gymnasialen Unterricht betonen die Autoren: „Der Schüler soll im Verlauf des Unterrichts nicht einfach mit naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und Verfahren vertraut gemacht werden, sondern das Wesen der Naturwissenschaften selbst erfassen ...“ (Flörke/Floh 1969, S. 21).

Als Folge des fachbornierten Ansatzes bei der Aufarbeitung der von den Naturwissenschaften angebotenen Inhalte erleidet die notwendigerweise vorzunehmende didaktische Schwerpunktsetzung eine Reduzierung auf Simplifizierungs- oder Verwissenschaftlichungsmaßnahmen.

Dabei ist innerhalb der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik bereits in den fünfziger Jahren im Rahmen des Versuchs, die Stofffülle der jeweiligen Fachdisziplin sinnvoll für den Unterricht aufzuarbeiten, die Forderung erhoben worden, die inhaltliche Gestaltung des Unterrichts über fachimmanente Kriterien hinaus an allgemeinen Bildungsinhalten zu orientieren.

Die Vermittlung von Fachwissen ist diesem Verständnis zufolge nicht allein Zweck des naturwissenschaftlichen Unterrichts und nicht aus sich selbst heraus legitimierbar, sondern ist eher Mittel für das Ziel, den Schülern zu ermöglichen, ihr

fachbezogenes Wissen für das Verständnis ihres gesamten Lebenszusammenhangs anzuwenden.

So sieht Flitner als ein wesentliches Ziel des physikalischen Fachunterrichts, bei den Schülern „den Einblick in die Möglichkeit des Menschen, die Natur physikalisch zu sehen und sich technisch in ihr zu verhalten“ (Flitner 1955, S. 557) anzustreben und ordnet ausdrücklich den fachlichen Aspekt diesem Ziel unter. „An welchem Stoff das geschieht, ist für dieses Ziel belanglos“ (ebd.).

Zu einer ähnlichen Prioritätensetzung im Verhältnis von Fach- und Gesamtbildung kommt Martin Wagenschein: „Fachliche Schulung ist immer ein Nebenergebnis des Bildungsvorgangs, nicht notwendig umgekehrt“ (Wagenschein 1962, S. 17). Radikal kritisiert er einen nur auf die Sachsystematik nach dem Prinzip des „Einfachen zum Komplizierten“ aufgebauten Unterrichts, der bei den Schülern „einen imposanten Schotterhaufen“ hinterläßt und „Systematik des Stoffes mit Systematik des Denkens“ (ebd., S. 5) verwechselt.

Trotz der eindeutigen Forderung nach Überwindung fachisolierter Orientierung, drängt sich die Frage auf, inwieweit in ihrem Ansatz, der in Grundzügen der sogenannten „Tübinger Resolution“ von 1951 verpflichtet ist und zunächst von dem pragmatischen Problem der Bewältigung der Stofffülle motiviert war, Anknüpfungspunkte für politisches Lernen im Fachunterricht gegeben sind.

Diese Frage wird auch durch die in geisteswissenschaftlicher Tradition stehende, unverkennbare Orientierung der Autoren an der bildungstheoretischen Didaktik relevant, die – von Weniger begründet und von Klafki weiterentwickelt – ein von politischen und soziologischen Inhalten zunächst losgelöstes Bildungsideal als Maßgabe für die didaktische Aufbereitung des Unterrichts setzt (vgl. Klafki 1969, S. 5).

In der Tat muten Zielformulierungen dieser Didaktiker oberflächlich betrachtet recht idealistisch an. So formuliert Flitner, daß „die eigentlich bildenden Faktoren der Gegenstände zur Wirkung kommen sollen“ (Flitner 1955, S. 565). Nach Wagenschein muß die Auswahl der Bildungsinhalte nicht nur „das Ganze des Fachs, – im günstigen Fall das Ganze der geistigen Welt – sie muß auch das Ganze des Lernenden ... erhellen“ (Wagenschein 1962, S. 9). Und für Spranger müssen Bildungsgüter gewährleisten, „... daß die Seele sich daran bilde, daß sie sich ausweite und mehr in die Höhe wachse“ (Spranger 1963, S. 134).

Man mag angesichts dieser Zielformulierungen zu Recht nach dem politisch emanzipativen Gehalt des bildungstheoretisch fundierten Ansatzes des exemplarischen Lernens fragen. Die Antwort erhält man – was typisch ist für in der Tradition des Deutschen Idealismus stehende Arbeiten – mit dem Versuch, die in ihnen gewonnenen Erkenntnisse aus dem Fundament des Menschenbildes des philosophischen Idealismus zu lösen und sie auf den Boden der historisch-gesellschaftlichen Tatsachen zu stellen.

Der unbestreitbare Wert der bildungstheoretischen Didaktik liegt in ihrer Erkenntnis, daß eine sinnvolle Vermittlung des Bildungsgutes eines Faches nicht durch den Versuch zu leisten ist, die gesamte Stoffbandbreite vereinfacht als Addition von Einzelphänomenen anzubieten, sondern daß es einer „Verdichtung“ (Wagen-



schein) bedarf, von der Art, daß das ausgewählte Thema Einblick und Orientierung in der Komplexität des Gesamtzusammenhangs, aus dem es entstand, bietet. „Das Einzelne, in das man sich hier versenkt, ist nicht Stufe, es ist Spiegel des Ganzen“ (Wagenschein 1962, S. 7).

Wenn dieses „Ganze“ bei Wagenschein und anderen als ein Bildungsideal verstanden und auf ein Menschheitsideal ausgerichtet wird, so hindert dies nicht, die zitierte Erkenntnis in einen soziologisch fundierten Zusammenhang zu stellen, d. h. das „Ganze“ zu verstehen als die Gesamtheit der Lebensumstände eines Individuums und nach der Rolle der Naturwissenschaften in der Strukturierung und Begründung jener Lebenszusammenhänge zu fragen.

Ausgehend von einer emanzipatorischen Erziehungsabsicht kann die didaktische Reduktion der naturwissenschaftlichen Stofffülle nicht von dem Ziel geleitet sein, durch Vereinfachung oder durch eine an der sachlogischen Struktur der Fachsystematik orientierten Schwerpunktsetzung eine naturwissenschaftliche Allgemeinbildung aufzubauen. Vielmehr muß versucht werden, die fachwissenschaftliche Fülle auf jenen „prägnanten Punkt“ (Negt) zu verdichten, der im vorigen Abschnitt als Kristallisationspunkt subjektiver Erfahrung und objektiver Realität bezeichnet wurde und der sowohl motivational als auch inhaltlich zum Ausgangspunkt für politisches Lernen werden kann.

Ohne so einer fetischhaften Politisierung jeglicher Unterrichtsinhalte das Wort zu reden, bietet eine an der Offenlegung des gesellschaftlichen Wirkungszusammenhangs orientierte didaktische Aufarbeitung fachlicher Erkenntnisse für den Unterricht die Möglichkeit, die fachimmanente Einschleifung simplifizierenden Alltagsdenkens bzw. pseudowissenschaftlichen Weltverständnisses zu überwinden.

Damit ist die Möglichkeit gegeben, auch im naturwissenschaftlichen Unterricht wirksam emanzipatorische Lernprozesse zu fördern: Nur ein Lernprozeß, „der verbunden ist mit einer auf das Ganze gerichteten soziologischen Denkweise kann den Heranwachsenden befähigen, die auf ihn einstürzende Masse von Informationen zu ordnen, zu verarbeiten und ihre Relevanz für sein eigenes politisches Verhalten zu untersuchen“ (Schmiederer 1971, S. 68).

Im Kapitel III wird versucht, nachdem im nächsten Kapitel die inhaltlichen Informationen zum Thema Kernenergie aufgearbeitet werden, die hier entwickelten Bedingungen politischen Lernens themenspezifisch für die didaktische Aufarbeitung zu konkretisieren.

# Teil II

## Naturwissenschaftliche, technische und gesellschaftspolitische Grundlagen der Kernenergie

### 4 Energiepolitischer Begründungszusammenhang für die Kernenergie

#### 4.1 Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch

Spätestens seit der 1973 politisch verordneten Energieeinsparung wurde die Energieversorgung für die Bevölkerung der Bundesrepublik als eine Variable für die Gestaltung der Lebens- und Arbeitssituation erfahrbar, und es zeichnete sich in der Öffentlichkeit allgemein eine Umorientierung von einem bedenkenlosen Energieverbrauch zu einer Berücksichtigung des sozial- und wirtschaftspolitischen Bedeutungszusammenhangs des Energiebedarfs einer Gesellschaft ab, Energie wurde zum Politikum.

Dabei ist der Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch offenkundig.

Weltweit stieg der Bedarf an Primärenergieträgern zwischen 1950 und 1974 von 2520 auf 8800 Mrd. t SKE (Steinkohleeinheiten), d.h. um 350%, während die Bevölkerungszahl in diesem Zeitraum nur um 66% von 2,50 Mrd. auf 4,03 Mrd. Menschen anwuchs (vgl. Bundeszentrale für politische Bildung 1975, S. 5)<sup>3</sup>.

Die Steigerung der industriellen Produktion – die sich zumindest in den entwickelten Industrieländern in quantitativen und qualitativen infrastrukturellen Verbesserungen, Ausdehnung des Konsumangebots und Ausweitung der Rüstung äußert – ist zusammen mit der Anhebung des allgemeinen Lebensstandards unmittelbare Ursache des extensiven Wachstums des Energieverbrauchs.

Ein Vergleich des pro Kopf Verbrauchs der Bevölkerung in Regionen mit unterschiedlichem Produktionsniveau verdeutlicht die Abhängigkeit des Energieverbrauchs von der Wirtschaftsentwicklung: So lag der Primärenergieverbrauch der BRD im Jahre 1972 mit 5,4 t SKE pro Einwohner und der USA mit 11,6 t SKE weit über dem Weltdurchschnittsverbrauch von 2,0 t SKE pro Kopf der Weltbevölkerung.

---

<sup>3</sup> Als Primärenergie werden jene Energieträger bezeichnet, die über Kraftwerke oder andere industrielle Anlagen in andere Energieformen (Wärme, Strom) umgewandelt werden. Ein Energieträger hat den Energiegehalt von einer Tonne Steinkohleeinheiten (SKE), wenn aus ihm genauso viel Energie gewonnen werden kann, wie aus einer Tonne Steinkohle. Zum Vergleich:

1 t Erdöl	=	1,44 t SKE
1 t Braunkohle	=	0,27 t SKE

Dagegen hatten Entwicklungsländer wie Indien (0,18 t SKE) und Brasilien (0,53 t SKE) gemessen am Weltniveau einen unterdurchschnittlichen Verbrauch an Energie pro Kopf der Bevölkerung (vgl. Bundesministerium für Forschung und Technologie - BMFT – 1978, S. 13).

Für die Bundesrepublik drückt sich der Zusammenhang in konkreten Zahlen folgendermaßen aus: So veränderte sich der Primärenergieverbrauch zwischen 1950 und 1970 von 136 Mill. t SKE auf 337 Mill. t SKE (vgl. Die ZEIT, Sonderdruck 1977, S. 4) bei gleichzeitigem Anwachsen des Bruttoinlandproduktes im gleichen Zeitraum um 174% (vgl. Osterland u. a. 1973, S. 15).

Die damit verbundene Zunahme der Warenproduktion, die Erhöhung der Arbeitsproduktivität sowie die Änderung der allgemeinen Lebensverhältnisse in Richtung auf wachsenden Komfort lassen sich an Beispielen belegen:

Zwischen 1960 und 1976 stieg der Wohnraumbestand von 16 auf 23 Mill. Wohnungen, der KFZ-Bestand von 10 auf 23 Mill. Fahrzeuge; der Energieverbrauch hat sich in diesem Zeitraum nahezu verdoppelt (vgl. Haenschke 1977, S. 48). Die Energieverbrauchssteigerung zwischen 1950 und 1970 wurde von einer Erhöhung der Arbeitsproduktivität, die als Indikator für die Technologisierung der Produktion angesehen werden kann, um das Vierfache begleitet (vgl. Osterland 1973, S. 21).

Folgende Zahlen mögen die Zunahme an Komfort in den individuellen Lebensumständen verdeutlichen: Entfielen 1950 von den verschiedenen Elektrogroßgeräten nur ein E-Herd auf einen von zehn Haushalten, so besaßen 1970 9 von 10 Haushalten Kühlschränke, 7 von 10 Waschmaschinen, 8 von 10 hatten Fernsehgeräte zur Verfügung, 7 von 10 einen E-Herd und schließlich 4 von 10 Heißwassergeräte und jeweils 2 von 10 Gefriergeräte.

Die Ausweitung der Verfügbarkeit von Elektrogroßgeräten mag unter anderem dafür verantwortlich sein, daß bei zunehmendem Elektrizitätsverbrauch der Anteil der Industrie am Gesamtstromverbrauch zugunsten der Privathaushalte gefallen ist. Während 1966 57,9% der in der Bundesrepublik in Form von Elektrizität bereitgestellten Energie von der Industrie und 14,1% von den Privathaushalten verbraucht wurde, nahm 1972 die Industrie 51,5% des in der BRD bereitgestellten Stroms in Anspruch gegenüber 19,0% durch die Privathaushalte (vgl. Bundeszentrale für politische Bildung 1975, S. 10).

Freilich darf der Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum nicht als eine konstante Relation interpretiert werden; in seiner quantitativen Ausprägung ist er abhängig von strukturellen Schwerpunkten im Produktions- und Konsumtionsbereich. Während in der bundesrepublikanischen Wiederaufbauphase zwischen 1950 und 1960 das Bruttosozialprodukt um 8,6% jährlich anstieg, nahm der Primärenergieverbrauch in diesem Zeitraum jährlich um 4,5% zu. Dagegen erreichte in der Zeit von 1960 bis 1973 der Primärenergieverbrauch mit 4,6% die gleiche jährliche Wachstumsrate wie das Bruttosozialprodukt (vgl. BMFT 1978, S. 13f.). Zwischen 1973 und 1980 stieg die Wirtschaftsleistung um 18,5%, der Energieverbrauch um 5,5% (vgl. Frankfurter Rundschau vom 24.9.80, S. 5).

Verschiebungen im Verhältnis von menschlicher Arbeitskraft und maschinellen Produktionskapazitäten wirken sich auf die Beziehung zwischen Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum ebenso aus, wie die Einführung von Techniken zur rationelleren Energieverwertung und Entwicklungstendenzen energieintensiver Industriezweige – z. B. der Eisenverarbeitung – im Verhältnis zum gesamtgesellschaftlichen Produktionsbereich.

Sofern ein Zusammenhang zwischen Wirtschaftsentwicklung und gesellschaftlicher Energiekonsumption gegeben ist, wird die langfristige Bedarfssicherung an Energie in dem Maße unmittelbar zu einem politischen Problem, wie der Staat bzw. die jeweilige Regierung faktisch oder auch nur dem öffentlichen Schein nach verantwortlich für die Wirtschaftsentwicklung ist.

Dieses ist spätestens seit der Regierungserklärung Ludwig Erhards 1965 der Fall, in der als „gesellschaftliche Konsequenz der sozialen Marktwirtschaft“ (Bundestagsprotokoll 1965, S. 19) die Sicherung des Allgemeinwohls zur zentralen Aufgabe der Bundesregierung erklärt wurde.

Damit waren die eigentlich in einem ökonomischen Bedingungszusammenhang stehenden gesellschaftspolitischen Ziele wie Arbeitsplatzsicherung, Ausbau des Lebensstandards, Verbesserung der infrastrukturellen Versorgung gegenüber der jeweiligen Regierung politisch einklagbar geworden. Obwohl die Wirtschaftsentwicklung grundlegend von der Investitionsfreudigkeit und das heißt Profitkalkulation der Privatunternehmen bestimmt ist, schreibt die Ideologie der sozialen Marktwirtschaft – bei Gefährdung ihrer Integrationskraft – die Stabilität der ökonomischen Lebensbedingungen den politisch-administrativen Fähigkeiten der jeweiligen Regierung zu. Da auf der Grundlage der Wirtschaftsordnung der BRD Arbeitsplätze und Lebensstandard nach gängiger Auffassung nur durch kontinuierliches Wirtschaftswachstum gesichert werden können (vgl. Matthöfer 1977, S. 91), müssen die dafür notwendigen Energiekapazitäten politisch gesichert werden.

Gelingt es den politisch Verantwortlichen nicht, diese Ziele zu erfüllen, laufen sie Gefahr, durch Legitimationsverluste bedingte Loyalitätskrisen großer Teile der Bevölkerung gegenüber dem sozialen System und somit soziale Unruhe hinnehmen zu müssen.

Nicht umsonst heißt es in der Antwort der Bundesregierung auf eine Große Anfrage zur Energiepolitik im Deutschen Bundestag: „Die Bundesregierung muß ein Wachstum der Gesamtwirtschaft sichern, das die wichtigsten ökonomischen und sozialpolitischen Probleme ohne tiefgreifende Konflikte lösen hilft, insbesondere die nachhaltige Verbesserung der Arbeitsmarktlage“ (Bundestagsdrucksache 1977, S.8).

## **4.2 Probleme langfristiger Energiebedarfsdeckung**

Die gesellschaftspolitische Bedeutung der Energieversorgung erfordert eine langfristige energiepolitische Planung. Unter Berücksichtigung der Beziehungen zwischen Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch werden mit Hilfe von Trendextrapolationen – in die Annahmen über die Bevölkerungsentwicklung ebenso eingehen wie

vermutete relative Steigerungen des Produktions- und Konsumpotentials – die zukünftigen Bedarfssätze für Energie ermittelt. Bei Maßgabe konstanter Bevölkerungszahlen und einem jährlichen Wachstum des realen Bruttosozialprodukts von 4% bis 1985 wird in einem gemeinsamen Gutachten des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung Berlin (West), des Energiewirtschaftlichen Instituts der Universität Köln und des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung Essen der Bedarf an Primärenergieträgern für 1985 auf 496 Mill. t SKE prognostiziert, gegenüber einem realen Verbrauch im Jahre 1970 von 336,8 Mill. t SKE (vgl. Bundestagsdrucksache 1977, S. 6–8).

Der Bedarf an elektrischem Strom, einer bequemen und sauberen Form der Bereitstellung von Energie, steigt in diesem Zeitraum von 199,2 Mrd. kWh auf 470 Mrd. kWh und somit in einem wesentlich größeren Verhältnis als der Primärenergiebedarf, was bedeutet, daß ein immer größerer Anteil der Primärenergieträger für die Stromerzeugung genutzt wird (vgl. ebd., S. 7).

Die Beachtung der bisherigen Anteile von Primärenergieträgern an der Energiebedarfsdeckung der Bundesrepublik öffnet den Blick für die wirtschaftlich- und ressourcenbedingten Schwierigkeiten der langfristigen Sicherung der Energienachfrage.

Zwischen 1970 und 1985 werden über 90% des Primärenergiebedarfs von den fossilen Trägern Mineralöl, Steinkohle, Braunkohle und Erdgas gedeckt, wobei allein Mineralöl mit mehr als 50% die Energieversorgung stützt (vgl. ebd., S. 6).

Setzt man die technisch gewinnbaren Energievorräte der Bundesrepublik an fossilen Energieträgern in Relation zum Bedarf, so wird die Importabhängigkeit der westdeutschen Energieproduktion deutlich.

Während 1974 im Bundesgebiet 6,2 Mio. t Erdöl gefördert werden konnten, verarbeiteten die Raffinerien etwa 150 Mio. t. Dennoch deckte die Verarbeitungskapazität den Bedarf an Mineralölprodukten nicht, so daß neben Rohöl auch Mineralölprodukte importiert werden mußten (vgl. BMFT 1978, S. 36). Die Einfuhr von 96% des Mineralöls, 3% des Braunkohle- und 59% des Erdgasbedarfs verursachten 1976 Aufwendungen von 41,8 Mrd. DM (vgl. Bundestagsdrucksache 1977, S. 8). Allein die Rohöl- und Produktenimporte kosteten der BRD 1980 64,8 Mrd. DM (vgl. Frankfurter Rundschau vom 7. 5. 81, S. 6).

Obwohl mit dem Energiepotential der einheimischen Steinkohle langfristig eine Energiebedarfsdeckung in der BRD möglich wäre, kann die Steinkohle gegenwärtig nicht im nennenswerten Umfang als Ersatz für Mineralöl herangezogen werden.

Die zu Beginn der sechziger Jahre einsetzende Verdrängung der Kohle zugunsten des billigeren und leichter zu handhabenderen Öls führte zu einer Einfrierung bzw. teilweise zu einem Rückgang der Abbaukapazitäten für Steinkohle, die eine kurzfristige Ausweitung der Förderleistung behindert. Während 1959 die Jahresförderung von Steinkohle in der BRD 5,44 Mio. t erreichte, wurden 1978 nur 3,48 Mio. t Steinkohle gefördert (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft 1979, S. 14).

Mit der gegenwärtigen Abhängigkeit der bundesrepublikanischen Volkswirtschaft vom Mineralöl treten Versorgungsrisiken auf, die eine erhebliche Gefährdung des Wirtschaftsablaufs darstellen.

Während bei Erdgas die weltweiten Vorräte unter Berücksichtigung der derzeitigen weltpolitischen Situation für die BRD günstig verteilt sind – über 90% des Erdgasbedarfs der BRD wird aus heimischen und westeuropäischen Quellen gedeckt – konzentrieren sich 70% der Weltvorräte an Mineralöl auf den Mittleren Osten und Nord-Afrika und somit auf Staaten, deren politische und wirtschaftliche Beziehungen zur Bundesrepublik nicht von langfristig verlässlicher Stabilität gekennzeichnet sind.

Wie sehr angesichts der Mineralölabhängigkeit der westlichen Industrieländer die Verfügbarkeit der Ware Energie von politischen Entwicklungen in den Förderländern abhängig ist, zeigte die Entscheidung der in der OAEPEC zusammengeschlossenen arabischen Mitgliedsländer der OPEC vom 17.10.73, als diese Länder beschlossen, die westlichen Industriestaaten zukünftig mit 25% weniger Öl zu beliefern, die Niederlande wegen ihrer israelfreundliche Politik zeitweise völlig zu boykottieren, und den übrigen westlichen Staaten androhten, die Öllieferung jeden Monat um weitere 5% zu senken, falls Israel weiter politisch unterstützt würde.

In jüngster Zeit stellte die islamische Revolution im Iran, der 1978 mit 17,2 Mio. t Erdöllieferung in die BRD der größte Erdölimporteur war, die Sicherung der Rohölversorgung in Frage. Zu Beginn des Jahres 1979 wurde die Ölförderung im Iran für 70 Tage ganz eingestellt, um sie anschließend mit einer auf 40% verminderten Kapazität wieder aufzunehmen (vgl. Die ZEIT v. 22.6.79, S. 12).

Neben dem politischen Risiko birgt die hohe Konzentration der Mineralölvorräte das ökonomische Risiko eines einseitigen Preisdiktates, sowohl durch die Förderländer als auch durch die zwischen Produzentenstaat und Verbraucherstaat stehenden Erdölkonzerne. So wurden im Sommer 1979, als die Unsicherheit über die Zukunft des iranischen Erdölflusses Versorgungsängste schürte, 80000 t für die BRD bestimmtes Benzin im Rotterdamer Hafen in Lagertanks zurückgehalten (vgl. ebd.). Die Möglichkeit der den Weltmarkt beherrschenden Mineralölkonzerne, durch künstliche Verknappung Preisentwicklungen zu veranstalten, die von nationalen Staaten nahezu unkontrollierbar sind, hat seine Auswirkungen auf die Gewinnbilanz dieser „Multis“: Während Exxon als umsatzstärkster Konzern seine Gewinne im 3. Quartal 1979 gegenüber dem gleichen Zeitraum 1978 um 119% steigern konnte, Standard Oil of Ohio einen Gewinnzuwachs von 191% verbuchte und Texaco sogar auf 211% Gewinnsteigerung verweisen kann (vgl. Die ZEIT v. 9.11.79, S. 22), haben die nationalen Regierungen der erdölimportierenden Staaten mit den wirtschafts- und sozialpolitischen Folgen von Preissteigerungen bei Mineralölprodukten wie Heizöl, Benzin etc. zu kämpfen.

Doch selbst wenn die politisch und ökonomisch bedingte Gefährdung der bundesrepublikanischen Energieversorgung unberücksichtigt bliebe, muß eine langfristig orientierte Energiepolitik versuchen, den Bedarf an fossilen Energieträgern zu reduzieren, da deren Vorräte weltweit begrenzt sind.

So schätzt die Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe die Reichweite der rentabel abbaubaren Steinkohlevorräte der Welt auf 188 Jahre, die der Braunkohle auf 273 Jahre und die des Erdöls auf 34 Jahre (vgl. Bundestagsdrucksache 1977, S. 9). Eine etwas optimistischere Prognose des Bundesministers für Forschung und

Technologie sagt das Ende der Kohlevorräte für das Jahr 2500 und Erdölvorräte für 2070 voraus (vgl. BMFT 1975, S. 20).

Allerdings sind die fossilen Energieträger zum größten Teil substituierbar. Nach einer Studie der Kernforschungsanstalt Jülich sind etwa  $\frac{2}{3}$  des Mineralölbedarfs durch andere Energieträger zu decken, da das Mineralöl zum großen Teil im Niedrigtemperaturbereich für Raumheizung und Warmwasseraufbereitung Verwendung findet. Nur mit technologisch hohem Aufwand wäre Mineralöl als Rohstoff für die chemische Industrie teilweise ersetzbar (vgl. Kernforschungsanstalt Jülich 1974, S. 9).

Unter Berücksichtigung der energietechnologischen Innovationsfähigkeit, der weltweiten Vorratsbegrenzung an fossilen Energieträgern, der politischen und ökonomischen Versorgungsrisiken und der gesellschaftspolitischen Bedeutung der Energiebedarfssicherung, muß eine langfristige Energieversorgungspolitik darauf abzielen, die Veränderung des Anteils der fossilen Energieträger zugunsten anderer Energiequellen voranzutreiben, wobei Kriterien wie Benutzerfreundlichkeit, Umweltfreundlichkeit, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit eine zentrale Bedeutung zukommt.

Da alternative Energiequellen aufgrund geographischer Verhältnisse in der Bundesrepublik zur Zeit nicht nutzbar sind, ihre technologische Ausbeutung im großen Maßstab kurzfristig nicht realisierbar ist, und die energiepolitische Vernachlässigung der Kohle ein kurzfristig nicht auszufüllendes Technologiedefizit hinsichtlich einer effektiveren Nutzung des Energiepotentials der Kohle (z. B. Kohleverflüssigung zur Gewinnung benzinähnlicher Brennstoffe) bewirkte, ist in der energiepolitischen Planung der Kernenergie besonderes Gewicht beigemessen worden. Wirtschaftsminister Lamsdorff meinte im Mai 1979 gar, ohne kurzzeitig realisierbare Alternativen seien ohne die Nutzung der Kernenergie „unerträglich wachsende soziale Spannungen“ zu befürchten (zitiert nach Frankfurter Rundschau vom 3.5.79, S. 1).

#### **4.3 Kernenergiepolitik in der BRD**

Obwohl der naturwissenschaftliche Forschungsstand in Deutschland traditionell eine international herausragende Stellung einnahm, geriet die Bundesrepublik – aufgrund von Abwanderungen bedeutender deutscher Naturwissenschaftler während des deutschen Faschismus und infolge der bis 1955 wirksamen alliierten Vorbehaltsrechte auf dem Gebiet der technologischen Nutzung der Kernenergie – in der Kernforschung international ins Hintertreffen.

Mit der Einrichtung eines Bundesministeriums für Atomfragen 1955 waren die politischen Strukturen für intensive staatliche Fördermaßnahmen hinsichtlich der Entwicklung der Kerntechnologie in der BRD geschaffen.

Im Rahmen der seit 1956 verabschiedeten vier Atomprogramme erhielt die Entwicklung der Kerntechnik Unterstützung aus öffentlichen Mitteln von rund 17,5 Mrd. DM, wovon 70 % zwischen 1968 und 1976 verausgabt worden sind (vgl. BMFT 1977, S. 18 ff.; Schmidt-Küster/Popp 1975; Prüß 1974). Auch in dem gerade

ausgelaufenen „Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977–1980“ nimmt die Kernenergieförderung eine herausragende Rolle ein. Von dem auf 6,532 Mrd. DM bezifferten Gesamtvolumen des Energieprogramms entfallen auf die Kernenergie 4,532 Mrd. DM (vgl. BMFT 1977, S. 160).

Die Rechtfertigungsversuche der politisch Verantwortlichen und wirtschaftlich Interessierten für die Einführung der Kernenergie entstammen der oben entwickelten energiepolitischen Basis: Im Gegensatz zu einer mineralölbasierenden Energietechnologie sei die mit Uran als Grundstoff betriebene Energiebedarfssicherung durch Kernkraftwerke gewährleistet, da weder politische Verwicklungen auf absehbare Zeit die Belieferung der BRD mit Uran gefährden würden, noch eine kurzfristige Verknappung der Weltreserven an Uran zu erwarten sei. Auf dem Weltwirtschaftsgipfeltreffen, das im Juli 1978 in Bonn stattgefunden hatte, wurde der Bundesrepublik von den USA und Kanada eine verlässliche Versorgung mit Kernbrennstoff zugesagt (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft, 1979, S. XI). Nach Aussagen von R. Gerwin würden die weltweiten Uranvorräte bei Anwendung fortgeschrittener Kerntechnologien den Energiebedarf der Weltbevölkerung – ausgehend von 4 Mrd. Bewohnern, wobei jedem Bewohner die gleiche pro-Kopf-Energiemenge wie den Einwohnern der BRD zur Verfügung stehen würde – 8000 Jahre lang sichern können. Weniger kühn spekuliert allerdings die Bundesregierung. In dem Kommentar zur zweiten Fortschreibung des Energieprogramms von 1977 wird unter der Voraussetzung der Anwendung derzeitig praktizierter Kerntechnologien keine Verknappung der Uranvorräte bis zum Jahre 2000 erwartet (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft 1977, S. 43).

Nach Darstellung von Befürwortern der Kernenergie wirkt sich die effektivere Nutzbarkeit des Primärenergieträgers Uran gegenüber fossilen Energieträgern verbilligend auf die Stromerzeugungskosten aus. Während die festen Kosten eines Kraftwerkes wie Anlage- und Bauplatzausgaben, Bauzeitzinsen sowie Rücklagen für den Abbruch bei einem 1200 MW Reaktor der heute üblichen Bauweise unter der Voraussetzung von 6500 Betriebsstunden pro Jahr und einer Nutzungszeit von 20 Jahren sich mit 5,2 Pf pro kWh auswirken, gegenüber 2,8 Pf/kWh eines vergleichbaren Kohlekraftwerkes, müssen für die Betriebs- und Brennstoffkosten eines Atomkraftwerkes pro kWh erzeugter elektrischer Energie 2,92 Pf berechnet werden; für ein Kohlekraftwerk 7,61 Pf (Stand: 1978). Mithin ergibt sich eine Gesamtkostendifferenz von 2,29 Pf/kWh zugunsten des Kernkraftwerkes (vgl. BMFT 1978, S. 428).

In diesem Zusammenhang wird häufig auf die Folge des geringeren Anteils der Brennstoffkosten bei der Stromerzeugung hingewiesen. Während die Uran-Kosten zu 19% in die Stromgestehungskosten eingehen, beeinflussen die Mineralölkosten den Endpreis zu 60%, so daß eine Verdoppelung der Rohstoffpreise für Mineralöl eine Strompreiserhöhung von 5 Pf/kWh mit sich brächte, eine entsprechende Verteuerung des Urans dagegen die Stromgestehungskosten nur um 0,3 Pf/kWh steigern würde (vgl. Bundesminister des Inneren 1975, S. 7).

Behauptete Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit bilden den Hintergrund für das Vorhaben, den Bedarf an Mineralöl mit Hilfe der Kernenergie zu reduzieren.



Betrug die Leistungsbereitstellung aus Kernkraftwerken 1976 6554 MW und deckte somit 2,1 % des Primärenergieverbrauchs – gegenüber einem Anteil des Mineralöls von 52,9 %, ist für 1985 angestrebt, nur noch 45 % des Bedarfs durch Mineralöl zu decken und den Anteil der Kernenergie auf 13 % zu erhöhen (vgl. Bundestagsdrucksache 1977, S. 6; Deutsches Atomforum 1977, S. 3).

Zum Jahresende 1978 betrug die potentielle Leistung der 15 bundesdeutschen Nuklearanlagen 8675 MW. Allerdings befanden sich die beiden Anlagen Lingen und Grundremmingen mit einer Gesamtleistung von 517 MW seit Jahresbeginn außer Betrieb. Insgesamt vermochten die Kernkraftwerke 1978 3 % des Primärenergiebedarfs zu decken. Mit der Inbetriebnahme des Kraftwerks Philippsburg/Rhein erfolgte 1979 eine Erweiterung der Stromerzeugungskapazität kerntechnischer Anlagen um 900 MW. Neben diesen bereits arbeitenden Anlagen befinden sich 11 weitere Kraftwerke mit einer Gesamtleistung von 12620 MW im Bauzustand (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft 1979, S. X). Bis Mitte 1980 hat sich die installierte Gesamtleistung kerntechnischer Anlagen insgesamt lediglich auf 8747 MW erhöht (vgl.: Frankfurter Rundschau vom 24. 2. 81, S. 16).

Der mit den vier Atomprogrammen politisch geförderte Ausbau der Kernenergie, die bereits durchgeführten Forschungen und eingeleitete Baumaßnahmen begründen energiepolitische Faktizitäten, denen eine volkswirtschaftlich entscheidende Bedeutung beigemessen wird: Die durch das frühzeitige Votum für die Kernenergie erfolgte Schwerpunktsetzung führt zu einer energiepolitischen Situation, die bei einem heutigen Verzicht auf Kernenergie angeblich bereits 1985 eine Energielücke zur Folge hätte (vgl. Bundesminister des Inneren 1975, S. 8). Zudem sei die Kernindustrie zu einer Schlüsselindustrie geworden, mit zahlreichen Zulieferfirmen „der Elektroindustrie, des Maschinenbaus und der Chemie ...“ (ebd., S. 9), mit der eine wachsende Zahl von Arbeitsplätzen verbunden sei. Einhellig wird daher von Seiten der Wirtschaft und der Bundesregierung die Notwendigkeit eines weiteren Ausbaus der Kernenergie betont.

So beschwören im September 1979 Vertreter der deutschen Atomindustrie das Gespenst von Massenentlassungen und Auslandsabhängigkeit der BRD für den Fall, daß nicht sofort die politischen Voraussetzungen für den Bau neuer Nuklearanlagen geschaffen würden (vgl. Frankfurter Rundschau vom 4. 9. 79, S. 1). In der zur Zeit gültigen „Zweiten Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung vom 14.12.1977) wird zwar der Vorrang der heimischen Steinkohle für die langfristige Energiebedarfsdeckung herausgestrichen, doch gleichzeitig wird betont, daß „die Bundesregierung zur Deckung des mittel- und langfristigen Kapazitätsbedarfs in den einzelnen Lastbereichen, insbesondere auch unter regionalen Aspekten, den Bau weiterer Kernkraftwerke ... für unerlässlich“ hält (Bundesministerium für Wirtschaft 1977, S. 21).

Allerdings stößt der hier wiedergegebene energiepolitische Legitimationszusammenhang für eine atomare Energieproduktion auf wachsenden Widerspruch. Kernkraftgegner und Bürgerinitiativen, die vor den biologischen und technischen Risiken der Kernenergie warnen, bilden eine der größten außerparlamentarischen Oppositionsbewegungen in der Geschichte der Bundesrepublik. In Massendemon-

strationen mit mehr als 100 000 Teilnehmern (Hannover und Bonn im März bzw. Oktober 1979, Brokdorf im Februar 1981), regionalen Protestaktionen an geplanten Standorten für kerntechnische Anlagen sowie der Gründung neuer Wahlverbindungen und Parteien äußert sich ein Protestpotential, das die Realisierung der kerntechnischen Planungen nur um den Preis gesellschaftlich bedeutsamer politischer Loyalitätsverluste möglich macht. Die folgende Darstellung der naturwissenschaftlichen und technischen Grundlagen atomarer Energiebereitstellung soll die Frage nach der Berechtigung von Angst und Widerstand der Kernenergiegegner klären helfen.

## **5 Naturwissenschaftliche Grundlagen der Kernenergie (einfaches Atommodell)**

### **5.1 Bau der Atome**

#### *Die Entwicklung der Atommodelle*

Der Versuch, die kleinsten Bausteine der Materie zu ergründen, geht bis in die griechische Naturphilosophie zurück. Mit Leukipp (etwa 450 vor u.Z.), der zusammen mit seinem Schüler Demokrit als Begründer des atomistischen Weltbildes anzusehen ist, tauchte erstmalig die Annahme auf, daß alle Stoffe aus gleichen, nur durch Masse und Größe einander unterschiedlicher Bauteile bestünden, die Atome (atomos – unteilbar) genannt wurden.

Nachdem im Mittelalter, entsprechend dem vorherrschenden metaphysischen Weltbild, die Elementenlehre von Empedokles, nach der die Welt aus vier verschiedenen Substanzen: Erde, Feuer, Wasser, Luft aufgebaut sein sollte, die Basis für die Reflektion des Menschen über den Aufbau der gegenständlichen Welt bildete, fand die Atomvorstellung erst wieder mit den von Bernoulli (1700–1782) entwickelten Grundlagen einer kynetischen Gastheorie wissenschaftliche Bedeutung. Der englische Physiker Dalton (1766–1844) leitete mit seinen Hypothesen über den Feinbau der Stoffe die Grundgesetze für die chemischen Reaktionen (Gesetz von der Erhaltung der Masse, Gesetz der konstanten Proportionen, Gesetz der multiplen Proportionen) ab. Einen wichtigen Schritt zur Klärung der Beziehungen zwischen dem Aufbau von Stoffen und ihren Erscheinungen machte Dalton mit der Behauptung, für jedes chemische Element gäbe es eine charakteristische Atomart.

In Anlehnung an das Rutherford'sche Atommodell, mit dem das Atom erstmalig aus Kern und Hülle zusammengesetzt gedacht wurde, entwickelte Bohr seine Vorstellung, daß negativ geladene Elektronen auf Kreisbahnen mit verschiedenen Radien um einen positiv geladenen Kern kreisen würden.

Mit der Entwicklung wellenmechanischer Atommodelle wich die Anschaulichkeit von Modellvorstellungen zugunsten einer mathematisch strukturierten Theoriebildung über den Feinbau der Stoffe (vgl. Pauling 1973; Rost 1976).

Da Modellvorstellungen nicht die Wirklichkeit widerspiegeln, sondern ihre Berechtigung aus ihrer Erklärungsfunktion für naturwissenschaftliche Erscheinungen beziehen, genügt für die folgende Darstellung des Atombaues die Anlehnung an das Bohr'sche Atommodell mit einer Erweiterung derjenigen Annahmen des Amerikaners Harkins, mit denen er 1921 erstmalig die Existenz von Neutronen vermutete. Mit diesen Grundlagen ist sowohl die Radioaktivität als auch die künstliche Kernspaltung ihrem Wesen nach für Schüler der Sekundarstufe I zu erklären.

### *Die Elementarteilchen im Atomkern und in der Elektronenhülle*

Nach dem Bohr'schen Atommodell besteht ein Atom aus den im Kern befindlichen Nukleonen (Kernbausteinen) und den diesen Kern umkreisenden Elektronen.

Ein Elektron (e) ist Träger der kleinsten bekannten negativen elektrischen Ladung ( $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ )<sup>4</sup>.

Die Masse eines Elektrons beträgt  $9,109 \times 10^{-28} \text{ g}$ .

Da ein Atom nach außen elektrisch neutral wirkt, muß die Ladung des Elektrons durch eine gegengleiche Ladung neutralisiert werden. Der Träger der positiven Ladung ist das Proton; seine Ladung hat den gleichen Betrag wie die Elektronenladung nur mit positivem Vorzeichen. Die Masse des Protons (p) ist wesentlich größer als die eines Elektrons ( $1,673 \times 10^{-24} \text{ g}$ ). Die Anzahl der positiven Protonen ist in jedem Atom gleich der Anzahl der Elektronen.

Neben den Protonen befindet sich das elektrisch neutrale Neutron (n) im Atomkern. Seine Masse entspricht annähernd der Masse des Protons:  $1,675 \times 10^{-24} \text{ g}$ .

Aufgrund der kleinen Masse des Elektrons gegenüber dem Proton ist das Elektron massenmäßig betrachtet praktisch vernachlässigbar, so daß die gesamte Masse eines Atoms als im Kern konzentriert gedacht werden kann ( $m_p : m_e = 1837 : 1$ ) (vgl. Barrit 1973).

Die relativen Abstände zwischen Atomkern und den Elektronen sind in einem Atom sehr groß. Während der Atomkern einen Durchmesser von  $10^{-12} \text{ cm}$  aufweist, hat das Gesamtatom einen Durchmesser von  $10^{-8} \text{ cm}$ , so daß der Abstand des Elektrons vom Kern das 10000fache des Atomkernradiuses beträgt.

### *Der Aufbau des Atomkerns – Ordnungsprinzip der Elemente*

Bei fast allen Elementen ist der Atomkern aus beiden Nukleonen, Proton und Neutron aufgebaut. Die Elemente unterscheiden sich im wesentlichen durch die verschiedene Anzahl der im Kern vorhandenen Protonen. Mit dieser Zahl ist die Größe der Kernladungszahl Z eines Elements gegeben, die definiert ist als die Anzahl der positiven Elementarladungen im Kern. Da die bisher bekannten 105 Elemente im Periodensystem nach der Größe ihrer Kernladungszahlen geordnet sind, nennt man Z auch Ordnungszahl.

---

<sup>4</sup> Zum Verständnis der Schreibweise:  $10^{-1} = 0,1$ ;  $10^{-2} = 0,01$ ;  $2 \times 10^{-2} = 0,02$ .

Zusammen mit der ebenfalls im Atomkern befindlichen Anzahl von Neutronen (N) ergibt die Anzahl der Protonen eines Elements dessen Massenzahl A

$$A = Z + N.$$

Diese Massenzahl sagt nichts über die reale Masse eines Atoms aus, sondern dient lediglich als Vergleichsgröße der Massen untereinander. Man spricht daher auch von einem relativen Atomgewicht. Wasserstoff als das kleinste Element besitzt in seinem Atomkern lediglich ein Proton. Die Ladungszahl Z hat demnach die Größe 1. Dagegen ist z. B. der Kern eines Eisenatoms aus 26 Protonen und 30 Neutronen aufgebaut, so daß die Ladungs- bzw. Ordnungszahl von Eisen 26, seine Massenzahl 56 beträgt.

Während die das Element eindeutig bestimmende Anzahl der Protonen bei einem Element immer gleich sein muß, kann die Anzahl der Neutronen variieren. So gibt es Kohlenstoff ( $Z = 6$ ) mit 6, 7 oder 8 Neutronen oder Chlor ( $Z = 17$ ) mit 18 oder 20 Neutronen im Atomkern.

Die durch die unterschiedliche Anzahl der Neutronen eines Elements auftretenden verschiedenen Kernarten bei gleicher Kernladungszahl nennt man Isotope. In der Natur treten die meisten Elemente als Mischelemente auf, d. h. sie haben eine unterschiedliche Anzahl von Neutronen im Kern, wobei jedoch das Mischungsverhältnis bei allen natürlichen Vorkommen dieser Elemente nahezu gleich ist und sich auch bei chemischen Reaktionen nicht verändert. Isotope eines Elementes haben die gleichen chemischen Eigenschaften.

Da sich eine Kernart (Nuklid) eines Elementes eindeutig mit der Massenzahl und der Ladungszahl beschreiben läßt, wird für die symbolische Schreibweise eines Nuklids des Elements X die Formel  ${}^A_ZX$  angewendet. Die Anzahl der Neutronen des Nuklids ergibt sich aus der Differenz  $A - Z$ . Beispiel:  ${}^{17}_8O$  (Sauerstoff mit 8 Protonen und 9 Neutronen). Da die Anzahl der Protonen schon durch die Benennung des Elements gegeben ist, beschreibt man der Einfachheit halber ein Nuklid auch mit der Aufführung der Massenzahl hinter dem chemischen Symbol. Beispiel: Cl 35 (Chlor mit der Ordnungszahl 17 hat demnach 18 Neutronen im Kern).

### *Die Elektronenhülle*

Das Elektron befindet sich in einem durch die positive Ladung des Kerns erzeugten radialsymmetrischen Feld, in dem es aufgrund seiner negativen Ladung vom Kern angezogen wird und eine potentielle Energie erhält, deren Größe mit dem Abstand des Elektrons zum Atomkern zunimmt.

Da die Elektronen nicht in den Atomkern stürzen, muß angenommen werden, daß sie um den Kern kreisen, wobei die zur Radialbeschleunigung des Elektrons notwendige Radialkraft gleich der zwischen Elektron und Kern bestehenden elektrischen Anziehungskraft ist. Die der Radialkraft entgegengesetzte – durch die Trägheit einer Masse gegenüber der Änderung ihres Bewegungszustands auftretende –

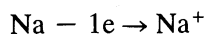
de – Fliehkraft, mit dem gleichen Betrag wie die elektrischen Anziehungskräfte, verhindert den Sturz des Elektrons in den Atomkern.

Jedes Elektron ist somit Träger einer Energie, deren Größe sich aus der Summe der potentiellen Energie des Elektrons und seiner Bewegungsenergie ergibt. Da sowohl die potentielle Energie als auch die kinetische Energie sich mit dem Radius der Kreisbewegung um den Kern verändert, müssen die Elektronen mit annähernd gleichem Energiezustand im gleichen Abstand um den Kern kreisen. Die unterschiedlichen Energieniveaus in einem Atom werden als Elektronenschalen dargestellt, die bestimmte Abstände zum Kern einnehmen, so daß man sich Elektronen mit annähernd gleichem Energieniveau auf einer Kugeloberfläche um den Kern kreisend vorstellen kann. In der Reihenfolge des Abstands der Schalen vom Kern werden die Schalen mit den Buchstaben K–Q versehen. Allerdings ist die Anzahl der Elektronen, die ein Energieniveau besetzen können, begrenzt. Sie berechnet sich für eine gegebene Schale nach der Formel  $2n^2$ , wobei  $n$  die Stelle der jeweiligen Schale vom Kern angibt ( $K = 1$ ;  $Q = 7$ ). Danach können zum Beispiel auf der O-Schale ( $n = 5$ )  $2 \times 25 = 50$  Elektronen maximal Platz finden, während die kernnaheste K-Schale nur zwei Elektronen Platz bietet.

In seinem Grundzustand nimmt jedes Elektron ein möglichst niedriges Energieniveau ein. Durch Energiezufuhr wie Erwärmung, Lichtzufuhr, Beschuß mit Strahlung kann jedoch ein im Grundzustand befindliches Elektron auf eine höhere Energiestufe gelangen. Aus diesem angeregten Zustand geht das Atom jedoch bald wieder unter Abgabe von Energie in den Grundzustand über, da der in der niedrigeren Energiestufe freigewordene Platz von Elektronen höherer Energiestufen besetzt wird. Dabei wird in Form von Licht die Energiemenge abgegeben, die vorher benötigt wurde, um das Elektron auf die höhere Energiestufe zu heben. So werden zum Beispiel Kohlenstoffatome bereits durch die in der Kerzenflamme herrschenden Temperaturen angeregt und senden beim Rückgang in den Grundzustand Licht aus.

Da die Größe des Elektronensprungs mit der dem Atom zugeführten Energiemenge wächst, ist es möglich, ein Elektron ganz aus dem Atomverband zu entfernen. Dieser Vorgang heißt Ionisation. Das Restatom (Ion) hat je nach Anzahl der entfernten Elektronen einen Überschuß an positiven Ladungsträgern und wirkt somit nach außen elektrisch positiv.

Beispiel: Das Element Natrium besitzt insgesamt 11 Elektronen, von denen sich 2 auf der inneren (K-)Schale, 8 auf der L-Schale und eins auf der bei Natrium äußeren M-Schale befinden. Dieses äußere Elektron kann vom Natriumatom bei chemischen Reaktionen abgegeben werden. Das Natriumatom wird zum Natriumion:



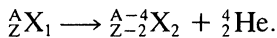
## 5.2 Änderungsprozesse von Atomkernen

### *Die natürliche Radioaktivität*

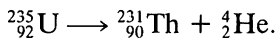
Während chemische Reaktionen im wesentlichen mit Veränderungen in der Atomhülle eines Elements einhergehen, sind radioaktive Strahlen mit Veränderungen der Atomkerne verbunden. Im Gegensatz zu einer chemischen Reaktion läßt sich die Radioaktivität eines Stoffes nicht durch äußere Einwirkungen wie Druck- oder Temperaturänderungen steuern. Sämtliche Atomkerne lassen sich in zwei Gruppen einteilen: Man unterscheidet Kerne, die sich nicht selbständig verändern und daher als stabil bezeichnet werden von den instabilen, radioaktiven Kernen (Radionuklide).

Radioaktive Stoffe geben ständig Energie an die Umwelt ab und senden Strahlungen aus, wobei die Aussendung von Strahlung eine Veränderung des Atomkerns bewirkt.

$\alpha$ -Strahlen bestehen aus positiv geladenen Teilchen. Die  $\alpha$ -Strahlung setzt sich aus zwei Protonen und zwei Neutronen, die aus dem Kern eines radioaktiven Stoffes ausgeschleudert werden, zusammen. Damit entspricht die  $\alpha$ -Strahlung einem Heliumkern  ${}^4_2\text{He}$ . Bei der Aussendung von  $\alpha$ -Teilchen verwandelt sich das Radionuklid in ein neues chemisches Element, dessen Ordnungszahl um 2 und dessen Massenzahl um 4 geringer ist als beim Ausgangsstoff. Allgemein gilt für den  $\alpha$ -Zerfall:



Beispiel: Aus dem Uranisotop U 235 wird nach Abgabe eines  $\alpha$ -Teilchens Thorium 231



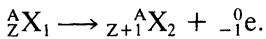
Der  $\alpha$ -Zerfall kommt nur bei Atomkernen vor, die eine Massenzahl größer als 200 haben.

Beim Durchgang durch Materie vermögen die  $\alpha$ -Strahlen durch Übertragung ihrer Energie auf Elektronen, diese zu Energieniveausprüngen, d.h. zur Ionisation, zu veranlassen. Da das  $\alpha$ -Teilchen selbst bei diesem Vorgang Energie verliert, bewirkt die Ionisation von Materie eine Verlangsamung der Geschwindigkeit des  $\alpha$ -Teilchens. Bei genügender Dicke eines Materials kann die Strahlung absorbiert werden. Die Reichweite der Strahlung in einem bestimmten Material hängt somit von der Ionisationsfähigkeit ab. Die Ionisationswirkung einer Strahlung wird als „spezifische Ionisation“ bezeichnet und durch den Quotienten aus der Anzahl der von einem Teilchen während seines Weges  $\Delta s$  erzeugten Ionen ( $n$ ) und dem Weg  $\Delta s$  ausgedrückt. Für die spezifische Ionisation ( $I_s$ ) gilt:

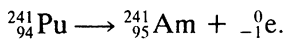
$$I_s = \frac{n}{\Delta s}$$

Da die Ionisationswirkung der  $\alpha$ -Teilchen relativ hoch ist, und die Teilchen somit rasch an Energie verlieren, haben  $\alpha$ -Teilchen nur ein geringes Durchdringvermögen in der Materie. Bereits ein Blatt Papier absorbiert  $\alpha$ -Teilchen; ihre Reichweite in Luft beträgt unter Normalbedingungen um 5 cm (vgl. Schultz/Vogt 1977, S. 24 ff.; Stolz 1978, S. 12 ff.).

$\beta$ -Strahlen bestehen aus schnellen Elektronen ( ${}_{-1}^0\text{e}$ ), die vom Kern (!) des radioaktiven Stoffes ausgesendet werden und bei der Verwandlung von einem Neutron zu einem Proton entstehen. Ein Atomkern, der  $\beta$ -Strahlung aussendet, verändert seine Ladungszahl daher um + 1, obwohl die Massenzahl gleichbleibt. Für die Veränderung eines Radionuklids durch  $\beta$ -Zerfall gilt allgemein:



Beispiel: Plutonium 241 verwandelt sich unter Abgabe negativer  $\beta$ -Strahlung in Americium 241



Ebenso wie die  $\alpha$ -Strahlen können die  $\beta$ -Strahlen unter Abgabe von Energie Materie beim Durchdringen ionisieren. Da die Elektronen der  $\beta$ -Strahlung aufgrund ihrer geringeren Größe beim Durchdringen von Materie häufig eine Streuung erfahren, beruht die Absorption der  $\beta$ -Strahlung sowohl auf Energieverlust durch Streuung als auch auf direkter Energieabgabe. Die  $\beta$ -Strahlen besitzen eine wesentlich geringere spezifische Ionisation als  $\alpha$ -Strahlung und durchdringen Materie deshalb tiefer. So erreichen sie in Luft Reichweiten von mehreren Metern. Erst eine 1,5 cm dicke Plexiglasscheibe kann  $\beta$ -Strahlen völlig absorbieren.

$\gamma$ -Strahlen sind elektrisch neutral und bestehen aus elektromagnetischen Wellen. Bei der Abgabe von  $\gamma$ -Strahlung tritt keine Veränderung der Struktur des Atomkerns ein;  $\gamma$ -Strahlung geht lediglich mit einer Überführung des Atomkerns von einem angeregten in einen niedrigen Energiezustand einher. Physikalisch ähneln die  $\gamma$ -Strahlen den Röntgenstrahlen.

Bei einer Durchdringung von Materie bewirken langwellige, energieärmere  $\gamma$ -Strahlen ebenfalls Ionisation, wobei die  $\gamma$ -Strahlen eine große Reichweite besitzen. Energiereiche, kurzwellige  $\gamma$ -Strahlen erfahren unter Abgabe von Energie an die Elektronen der bestrahlten Materie einen Energieverlust, der ihre Strahlungsfrequenz herabsetzt und aus ihnen langwellige  $\gamma$ -Strahlen entstehen läßt, die ihrerseits weiterhin Materie ionisieren können.

Die durch Zerfall entstehenden Atomkerne sind zumeist wieder radioaktiv. Somit ergeben sich für die Radionuklide Zerfallsreihen, d.h. die Kernumwandlung schreitet solange fort, bis ein stabiler Kern erreicht ist. Die drei natürlichen Zerfallsreihen, beginnend mit den Nukliden Uran 235, Uran 238 und Thorium 232 enden alle bei stabilen Isotopen des Elements Blei. Lediglich die durch das künstliche Element Neptunium eingeleitete Zerfallsreihe hat als letztes Glied das Isotop Wismut 209 (vgl. Stolz 1976, S. 87 ff.).

Obwohl der Zeitpunkt des Zerfalls eines Radionuklids nicht vorhersagbar ist, lassen sich statistische Angaben über den Zerfall großer Teilchenmengen eines Radionuklids machen. Der Zeitraum, in der die Hälfte der Teilchen eines vorhandenen Stoffes zerfallen ist, nennt man Halbwertszeit.

Beispiel: Die Halbwertszeit von Radium (Ra 226) beträgt 1622 Jahre. Von einem Gramm Ra 226 sind nach 1622 Jahren noch 0,5 g, nach  $2 \times 1622$  Jahren noch 0,25 g vorhanden usw.

Um einen Vergleich zwischen der Strahlungsaktivität der mit unterschiedlicher Halbwertszeit zerfallenden Radionuklide ziehen zu können, bezeichnet man als radiologische Aktivität (A) eines Präparates die Anzahl der Zerfallsakte pro Zeiteinheit. Wenn gilt:  $N_0$  sei die Anzahl der Teilchen zum Zeitpunkt  $t_0$  und  $N_1$  die Anzahl der Teilchen zum Zeitpunkt  $t_1$ , so gilt für die radiologische Aktivität:

$$A = \frac{N_0 - N_1}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

Die Maßeinheit für die radiologische Aktivität ist das Becquerel (Bq). Ein Präparat hat die radiologische Aktivität von 1 Bq, wenn pro Sekunde ein Teilchen zerfällt. Ein Becquerel hat demnach die Einheit  $\frac{1}{s}$ . Beispiel: Von einem Gramm Radium zerfallen pro Sekunde  $3,7 \times 10^{10}$  Teilchen. Die radiologische Aktivität von Radium beträgt daher  $3,7 \times 10^{10}$  Bq.

Bis zu dem seit dem 1.1.78 wirksamen Gesetz über die Einheit des Meßwesens wurde die radiologische Aktivität in Curie (Ci) gemessen. Dabei hat ein Stoff die radiologische Aktivität von 1 Ci, wenn pro Sekunde  $3,7 \times 10^{10}$  Atomkerne zerfallen. Für die Beziehung von Ci zu Bq gilt:  $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ .

Die Wirkung der radioaktiven Strahlung auf Materie wird nach der Größe der Übertragung von Strahlungsenergie bei der Ionisation des bestrahlten Stoffes bestimmt. Die Energiedosis K einer radioaktiven Strahlung ist definiert als Quotient von der durch die Strahlung auf die Materie übertragenen Energie  $\Delta W$  und der durchstrahlten Masse  $\Delta m$ . Es gilt:

$$K = \frac{\Delta W}{\Delta m}.$$

Als Maßeinheit für die Energiedosis gilt das Gray (Gy). Wenn eine ionisierende Strahlung auf 1 kg der durchstrahlten Materie die Energie ein Joule übertragen kann, so hat sie die Energiedosis 1 Gy. Neben der gesetzlich verbindlichen Einheit Gy ist heute noch die Angabe der Energiedosis in Rad (rd) gebräuchlich, wobei  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rd}$  entspricht.

### *Die Kernspaltung als künstliche Atomkernänderung*

Im Gegensatz zu den Radionukliden, die durch radioaktiven Zerfall in ein anderes Element übergehen, können stabile Atomkerne nur durch Beschuß mit energiereicher Strahlung, also durch Außeneinwirkung, verändert werden, wobei sowohl



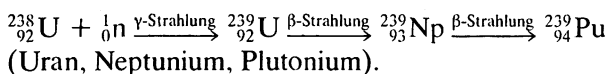
Strahlung aus einem radioaktiven Zerfall als auch beschleunigte Ladungsteilchen aus dem Teilchenbeschleuniger eine Elementenumwandlung bewirken können. Um eine für das Verständnis der Kernenergie nicht notwendige Breite der Darstellung verschiedener Möglichkeiten bei der Elementenumwandlung zu vermeiden, wird im folgenden nur die künstliche Elementenumwandlung durch Neutronenbeschuß behandelt.

Je nach Geschwindigkeit und Energiezustand unterscheidet man schnelle, mittel-schnelle und langsame Neutronen (epithermische und thermische). Während die schnellen Neutronen sehr energiereich sind ( $W > 10^5$  eV), besitzen thermische Neutronen einen Energieinhalt kleiner als  $10^{-1}$  eV (vgl. Höfling 1976, S. 900).

Da Neutronen keine Ladung besitzen, und somit Materie beim Durchdringen nicht direkt ionisiert wird, erfährt ein Neutron während seines Fluges keinen Energieverlust und wirkt somit im Falle des Zusammenstoßes mit einem Atomkern mit seiner gesamten Ausgangsenergie. Der dabei stattfindende Kernprozeß hängt sowohl von der Energie des Neutrons als auch von der Größe der mit diesem zusammenstoßenden Nuklide ab. Grundsätzlich sind drei Erscheinungen möglich:

Bei einem elastischen bzw. unelastischen Stoß erfährt das Neutron lediglich eine Streuung am Kern. Während jedoch bei einem elastischen Stoß das Neutron nur sehr wenig Energie an den Kern abgibt, geht der – vorzugsweise beim Zusammenstoß mit Kernen kleiner Massenzahl eintretende – unelastische Stoß mit der Übertragung eines Teils der Neutronenenergie auf den Kollisionskern einher; die Energieabgabe des Neutrons an den Kollisionskern ist dabei umso größer, je kleiner die Massenzahl des Kerns ist. So wird auf ein Proton (etwa der Wasserstoffkern) 100% der Energie des Neutrons übertragen, auf Blei 206 nur 1,9% (vgl. ebd., S. 901).

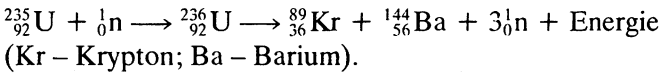
Vorzugsweise bei Neutronen mit mittlerer Geschwindigkeit kann es vorkommen, daß das Neutron von dem Kern, mit dem es zusammenstößt, eingefangen wird. Der Kern geht dann unter Abgabe von Strahlung ( $\gamma$ - oder  $\beta$ -Strahlung) in einen anderen Kern über. Beispiel:



Das eingefangene Neutron verwandelt sich in dem Beispiel unter Aussendung von Elektronenstrahlen in ein Proton, wodurch aus Uran 238 das Isotop Neptunium 239 entsteht, das durch den gleichen Vorgang in das Element Plutonium 239 übergeht. Beim Zusammenstoß von Neutronen mit schweren Atomkernen ist deren Spaltung in zwei mittelschwere Kerne und einige Neutronen möglich. Das Uranisotop U 235 kann sowohl von schnellen als auch von langsamen (thermischen) Neutronen gespalten werden:

Reagiert ein Neutron mit dem Kern des U 235, so bildet sich zunächst ein Zwischenkern U 236, der sofort in zwei mittelschwere Kerne zerfällt. Dabei gibt es etwa 40 verschiedene Möglichkeiten, zu welchen Kernen die Spaltung führen kann; meistens nehmen die Trümmerkerne in ihrer Massenzahl das Verhältnis 2 zu 3 ein.

Als Spaltungsformel drückt sich der soeben beschriebene Kernspaltprozeß folgendermaßen aus:



Die bei der Kernspaltung freiwerdende Energie ist die Ursache für das wirtschaftliche Interesse an der Kernspaltung. Bei der Spaltung eines Kerns wird die Energie von rund 200 Mega Elektronenvolt frei. Diese Energie ist etwa um das  $10^8$ -fache größer als die Energie, die bei einer normalen chemischen Reaktion freigesetzt wird. Wie dargelegt, befinden sich im Kern positive Ladungsträger, so daß der Kern aufgrund elektrostatischer Abstoßungen sofort auseinanderfallen müßte, wenn nicht andere Kräfte die Träger verschiedener Ladungen zusammenhalten würden. Diese Kräfte werden als Kernkräfte bezeichnet. Sie wirken zwischen Proton und Neutron und zwischen den Protonen und Neutronen untereinander. Bei Atomkernen mittlerer Massenzahl ist die Bindungsenergie zwischen den Kernbauteilen am höchsten. Zwischen den Nukleonen von schweren Atomkernen ist sie vergleichsweise gering; daher ist es überhaupt möglich, diese Kerne durch Beschuß mit Neutronen zu spalten. Aus der unterschiedlichen Größe der Bindungsenergien zwischen mittelschweren und schweren Atomkernen folgt, daß bei einer Kernspaltung Energie frei werden muß: Die Energie, die bei der Spaltung eines Kerns aufgebracht werden muß, um die Bindungskräfte zu überwinden, wird umgekehrt frei, wenn sich Kernbauteile zu einem Atomkern zusammenfügen. Da die Bindungsenergie bei mittelschweren Kernen größer ist als bei den schweren, muß Energie frei werden, wenn sich Nukleonen eines ehemals großen Kerns mit geringeren Bindungskräften zu einem mittelschweren Kern mit großen Bindungskräften zusammenfügen.

Die bei jeder Spaltung entstehenden Neutronen können nun ihrerseits wieder Kerne spalten. In diesem Fall liegt eine Kettenreaktion vor. Der Faktor, mit dem die Anzahl der freiwerdenden Neutronen wächst, heißt Multiplikationsfaktor (K). Von seiner Größe hängt der Verlauf einer Kettenreaktion ab. Ist er größer als 1, so nimmt die Neutronenzahl ständig zu, und das Material wird unter Freisetzung großer Energiemengen gespalten. Beträgt der Multiplikationsfaktor gleich 1, d. h. die über die Anzahl der ursprünglich vorhandenen Neutronen hinausgehenden Neutronen werden weggefangen, so wird ein kontinuierlicher Spaltungsprozeß aufrechterhalten. Beim Multiplikationsfaktor kleiner 1 findet keine Kettenreaktion mehr statt; der Spaltvorgang kommt zum Erliegen.

Da freiwerdende Neutronen auch aus der Substanz entweichen können, ohne eine weitere Spaltung hervorzurufen, kann bei zu geringer Masse spaltbaren Materials keine Kettenreaktion eintreten, da mehr Neutronen über die Oberfläche entweichen, als im Inneren zu wirken. Bei kugelförmigen Körpern wächst mit zunehmender Masse das Volumen der Substanz schneller als die Oberfläche, so daß bei geeigneter Form der spaltbaren Substanz die Masse, bei der eine Kettenreaktion möglich ist (kritische Masse), herabgesetzt werden kann. Die kritische Masse bei U 235 beträgt etwa 25 kg.

## 6 Kontrollierte Kernspaltung im Atomkraftwerk

Nachdem im letzten Abschnitt auf der Grundlage einfacher Modellvorstellungen die atomaren Grundlagen der Energiegewinnung durch Kernspaltung dargelegt worden sind, sollen im folgenden die daraus abzuleitenden technischen Probleme und deren Lösungsmöglichkeiten angedeutet werden. Die unterschiedliche Wirkung eines Zusammenstoßes von Neutronen verschiedener Energieinhalte mit schweren Atomkernen ist die entscheidende kernprozessuale Grundbedingung für die Steuerung der Kernspaltung im Reaktor.

Kernbrennstoff, Steuereinrichtungen und Neutronenbremsen müssen in ihrer Materialbeschaffenheit so aufeinander abgestimmt sein, daß einerseits eine kontrollierte Handhabung der im Reaktorkern ablaufenden Kettenreaktion möglich ist, andererseits der Verlust von spaltfähigen Neutronen beschränkt wird. Die im Reaktorkern befindlichen Brennelemente und Steuerstäbe sowie der – den Kernspaltprozeß ebenfalls beeinflussende – Moderator werden daher Gegenstand der folgenden Betrachtung sein müssen.

Da die Energieform elektrischer Strom durch eine Reihe von Energieumwandlungen aus der Kernspaltungsenergie bereitgestellt wird, die Träger der Energieumwandlung jedoch in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften den Erfordernissen einer funktionalen Neutronenbilanz nicht widersprechen dürfen, müssen auch die Energieumwandlungsprozesse in diesem Rahmen erörtert werden.

### 6.1 Reaktorkern: Brennstoff und Steuerstäbe

Aufgrund seines hohen Atomgewichts und der großen Überzahl von Neutronen im Verhältnis zu den Protonen, kommt dem Uran als Kernbrennstoff eine herausragende Bedeutung zu. Allerdings kann in den in der Bundesrepublik gebräuchlichen Reaktortypen von den beiden in der Natur in Form von Erzen (Pechblende, Carnotit, Brannerit) vorkommenden Uranisotopen nur das Isotop U 235 als Kernbrennstoff Verwendung finden, da die Kerne des Uranisotops U 238 von Neutronen nicht gespalten werden können, sondern diese einfangen oder mit den Neutronen einen elastischen Stoß vollziehen. Eine für die Kettenreaktion notwendige Neutronenbilanz kann auf der Grundlage von U 238 nicht geschaffen werden. Im Unterschied zu dem Nuklid U 238 weist das Nuklid U 235 in seiner Wechselwirkung mit Neutronen eine hohe Spaltungswahrscheinlichkeit auf; Absorptionen finden nicht statt, elastische Stöße – die auf die Neutronenbilanz direkt keinen Einfluß nehmen – im geringen Ausmaß.

Das Mischungsverhältnis von U 238 und U 235 im Natururan (99,3% zu 0,7%) macht das natürliche Uran als Kernbrennstoff ungeeignet, weil die U 238 Isotope Neutronen absorbieren, ehe sie für eine Spaltung von U 235-Kernen angewendet werden können. Erst mit angereichertem Uran, bei dem der Gehalt von U 235 auf 2,5 bis 3% erhöht worden ist, läßt sich eine für die Kernenergienutzung günstige Neutronenbilanz erreichen. Daher wird in sogenannten Anreicherungsanlagen das

Natururan physikalischen Prozessen, die das unterschiedliche Gewicht der Isotope U 238 und U 235 ausnutzen, unterzogen, die es auf den erforderlichen Anteil U 235 anreichern (vgl. Deutsches Atomforum 1978).

In einem 1200 MW-Reaktor vom Typ Biblis A sind rund 100 t angereichertes Uran eingelagert. Der Gehalt an spaltbarem Material übersteigt dabei die für eine Kettenreaktion notwendige kritische Masse um ein Vielfaches. Um zu verhindern, daß eine unkontrollierbare Kettenreaktion einsetzt, darf der Kernbrennstoff nicht als massiver Block in den Reaktor eingelagert werden, sondern muß in manipulierbaren Teilmengen, deren Gesamtwirkung je nach Bedarf gesteuert werden kann, aufgeteilt sein. Daher wird der Kernbrennstoff Urandioxid – U 235 ist auch in seinen chemischen Verbindungen spaltbar – in kleine tablettenförmige Portionen aufgeteilt. Diese „pellets“ sind im Durchmesser rund 1 cm groß und werden in dünnwandigen Metallröhren abgefüllt, deren aktive Höhe je nach Leistung des Kraftwerkes 3,60 bis 3,90 m beträgt. So beträgt die aktive Höhe dieser Brennstäbe im 800 MW Kraftwerk Brunsbüttel 3,66 m, im 1200 MW Kraftwerk Biblis 3,90 m (vgl. Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH 1977).

Als Material für die Brennstabhüllen findet zumeist Zirkaloy Verwendung, eine Legierung aus Zirkonium und Zinn.

Die einzelnen Brennstäbe werden zu Brennelementen zusammengefaßt, wobei die Zahl der Brennelemente und der Brennstäbe pro Element wiederum von der Leistungsgröße des KKWs abhängig ist. Das KKW Brunsbüttel weist z.B. 532 Brennelemente mit je 49 Brennstäben auf.

Neben den Brennelementen befinden sich die Steuerstäbe im Reaktorkern (Core). Sie bilden das technische Hilfsmittel zur Regulation der Neutronenbilanz, da mit ihrer Hilfe die bei der Kettenreaktion freiwerdenden Neutronen eingefangen und somit für eine weitere Kernspaltung unverfügbar gemacht werden können.

Um die Funktionalität für die Steuerung der Kettenreaktion zu gewährleisten, müssen die Steuerstäbe aus einem Material bestehen, dessen Atomkerne beim Zusammenstoß mit Neutronen nicht gespalten werden sondern diese einfangen. Aufgrund ihrer hohen Einfangwahrscheinlichkeit eignen sich die Elemente Bor und Cadmium besonders für die Verarbeitung zu Steuerstäben.

Die Regulation der Kettenreaktion im Reaktor erfolgt durch verschieden tiefes Eintauchen der Steuerstäbe zwischen die Brennelemente. Im Zeitpunkt des Anfahrens des Reaktors, bei dem ein Multiplikationsfaktor von  $K > 1$  erforderlich ist, sind die Steuerstäbe weit aus den Zwischenräumen der Brennelemente herausgezogen. Nachdem das gewünschte Leistungsniveau des Reaktors erreicht ist, erfolgt eine Stabilisierung der Neutronenbilanz, indem durch teilweises Einfahren der Steuerstäbe die durch weitere Kernspaltung neu entstehenden Neutronen z. T. absorbiert werden. Zum Abschalten des Reaktors werden die Steuerstäbe vollständig in den Kern eingefahren.

## 6.2 Moderator

Wenn oben allgemein von einer hohen Einfangwahrscheinlichkeit der U 238-Atome gegenüber Neutronen gesprochen wurde, bedarf dieses einer Präzisierung. Besonders hoch ist die Einfangwahrscheinlichkeit, wenn die Neutronen sich auf mittlerem Energieniveau bewegen. Schnelle Neutronen mit einer Geschwindigkeit von rund 20000 km/s prallen in der Regel unter Abgabe von Energie an den U 238-Kernen ab, ebenso wie die langsamen Neutronen (2000 m/s). Dagegen sind die langsamen Neutronen geeignet, U 235-Isotope zu spalten. Allerdings besteht die Gefahr, daß die bei der Kernspaltung entstehenden schnellen Neutronen, die beim Zusammenprall mit Atomkernen auf ein mittleres Energieniveau gelangen, in dieser Phase von den U 238-Kernen eingefangen werden und damit nicht mehr für Spaltungen des U 235 zur Verfügung stehen.

Die für die Kettenreaktion einerseits notwendige, durch Streuung verursachte Geschwindigkeitsminderung der schnellen Neutronen behindert andererseits die Aufrechterhaltung der Kettenreaktion, besonders dann, wenn die Bremsung nicht schnell genug geschieht, d.h. der Bereich mittlerer Energie nicht rasch genug unterschritten wird. Um diese schnelle Abbremsung der energiereichen Neutronen zu ermöglichen, bedarf es eines zusätzlichen Neutronenbremsers – des Moderators. Der Moderator muß aus einem Material bestehen, dessen Einfang- und Spaltungswahrscheinlichkeit gegenüber Neutronen möglichst klein ist und an dessen Atomkern eine elastische Streuung von Neutronen mit Reduktion ihrer Energieinhalte erfolgt. Da die Energieübertragung bei Stoßpartnern ähnlicher Masse am größten ist, eignen sich besonders Stoffe mit leichten Atomkernen zum Moderator. So beträgt die Anzahl der nötigen Zusammenstöße, um schnelle Neutronen auf ein niedriges Energieniveau zu bringen, 18 Stöße, wenn die Neutronen mit dem einfachen Wasserstoff H1 kollidieren, während das Wasserstoffisotop Deuterium (H2) aufgrund seiner Massenzahl etwa 25 Mal mit Neutronen zusammenstoßen muß, um ihre Geschwindigkeit entsprechend zu verringern (vgl. Höfling 1976, S. 923). Dennoch eignet sich schweres Wasser als Moderator besser als leichtes Wasser, denn die Wasserstoffkerne des leichten Wassers haben eine größere Einfangwahrscheinlichkeit gegenüber Neutronen als die schon mit einem Neutron besetzten Wasserstoffkerne des schweren Wassers. Reaktoren, die mit schwerem Wasser als Moderator betrieben werden, lassen sich sogar mit Natururan als Kernbrennstoff fahren. Allerdings werden in der Bundesrepublik aufgrund der hohen Kosten für die Herstellung von schwerem Wasser hauptsächlich Reaktoren mit leichtem Wasser betrieben.

## 6.3 Energieumsetzung

In den mit Wasser arbeitenden Kernkraftwerken erfüllt das Wasser neben dem Abbremsen von Neutronen eine zentrale Funktion im Energieumsetzungsprozeß, bei dem die während der Kernspaltung freigesetzte Bindungsenergie in elektrische Energie umgesetzt wird.

Die Bindungsenergie von rund 200 MeV, die bei der Spaltung eines U 235-Kerns frei wird, wandelt sich um in Bewegungsenergie der Spaltprodukte (168 MeV), der Neutronen (5 MeV) sowie in Strahlungsenergie der bei der Spaltung entstehenden Radioaktivität (insgesamt etwa 29 MeV) (vgl. Porschen 1962, S. 37).

Die Bewegungsenergie der Spaltprodukte wird bei deren Auftreffen auf die Hülle der Brennstäbe auf die Moleküle des Brennstabmaterials übertragen und versetzt diese in Schwingungen. Die dabei entstehende Wärme erhöht die Geschwindigkeit der Moleküle des die Brennelemente umfließenden Wassers, bis diese – im Siedewasserreaktor – den Verband verlassen; das Wasser siedet und verdampft (kinetische Energie der Wassermoleküle).

Der heiße Wasserdampf wird nun über eine Turbine geleitet, so daß sich die Bewegungsenergie des Dampfes in Wärme und Bewegungsenergie der Turbine umsetzt. Mit der Bewegungsenergie der Turbine wird ein Generator betrieben, aus dem schließlich die angestrebte elektrische Energie entnommen wird.

Nachdem der heiße Wasserdampf über die Turbine geströmt ist, wird er in einen Kondensator, den ein vom beschriebenen Primärkühlkreislauf getrennter Sekundärkühlkreislauf durchfließt, abgekühlt und als flüssiges Wasser zurück in das Reaktorinnere gepumpt. Die Kühlung des heißen Wasserdampfes ist erforderlich, da anderenfalls die Pumpe, mit der das Wasser in das Reaktorinnere zurückgepumpt wird, die gesamte Energie des Kernkraftwerkes für das Hineindrücken des Wasserdampfes verbrauchen würde, so daß das KKW keine Energie nach außen abgeben könnte; zudem würde es sich bis zur Selbstzerstörung erhitzen.

Der nach dem zweiten Hauptsatz der Wärmelehre, der besagt, daß „Wärme nur dann in Arbeit umgewandelt werden (kann, JK), wenn zugleich ein Teil der Wärme von einem wärmeren auf einen kälteren Körper übergeht“ (Kuchling o. Jg., S. 201), stattfindende Energieverlust in einem Wärmekraftwerk führt bei einem Kernkraftwerk in der Regel zu einem Nutzungsgrad von 30–35 % der erzeugten Anfangsenergie. So hat das KKW Brunsbüttel eine thermische Reaktorleistung von 2295 MW, seine elektrische Endleistung beträgt jedoch nur 771 MW, was einem Wirkungsgrad von 33,6 % entspricht (vgl. Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH 1977, S. 15).

## **6.4 Verschiedene Reaktortypen**

Reaktoren, die mit normalem Wasser als Moderator oder als Kühlmittel arbeiten, heißen Leichtwasserreaktoren. Von ihnen gibt es zwei verschiedene Konzeptionen, den Siede- und Druckwasserreaktor. Beide arbeiten mit angereichertem Uran als Brennstoff und unterscheiden sich im wesentlichen durch die Konstruktion des Kühlkreislaufs. Während im Siedewasserreaktor (KKW Lingen, KKW Grundremmingen) das Reaktorinnere (Druckgefäß) etwa zu zwei Drittel mit Wasser gefüllt ist, das bei Betrieb verdampft, wird im Druckwasserreaktor (KKW Biblis, KKW Stade) das Wasser im Druckgefäß einem Druck von 160 at ausgesetzt, so daß es im Druckgefäß nicht verdampfen kann und im gesamten Primärkühlkreislauf flüssig bleibt. Das auf etwa 315°C aufgeheizte Kühlmittel durchfließt einen sogenannten Dampferzeuger, in dem das Wasser eines autonomen zweiten Kühlkreislaufes

aufgeheizt und verdampft wird. Dieses Sekundärkühlmittel treibt eine Turbine an. Im Siedewasserreaktor, bei dem der Primärkühlkreislauf auf rund 280°C erhitzt wird, ist zwar ein Wärmeaustauscher nicht nötig, allerdings erreicht der Druckwasserreaktor mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 34,1% eine höhere Brennstoffausnutzung als der Siedewasserreaktor, dessen Wirkungsgrad nur bei 33% liegt. Siede- und Druckwasserreaktoren sind die in der BRD auch in Zukunft favorisierten Reaktortypen (vgl. BMFT 1976, S. 46).

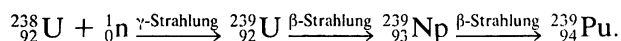
Die Reaktorbauarten der ersten Generation werden durch neue technologische Entwicklungen überholt. Zu den Reaktortypen der zweiten Generation, die auch in der Bundesrepublik Anwendung finden sollen, gehört der heliumgekühlte Hochtemperaturreaktor und der natriumgekühlte schnelle Brutreaktor.

Der Hochtemperaturreaktor (HTR) arbeitet mit hochangereichertem Uran (93% U 235) und Thorium (Th) als Brennstoff. Während U 235 wie im Leichtwasserreaktor durch thermische Neutronen gespalten wird, nimmt Th 232 beim Zusammenstoß mit schnellen Neutronen diese auf und bildet das radioaktive Isotop Th 233, welches unter  $\beta$ -Zerfall in das Radionuklid Protactinium (Pa 233) und weiter ebenfalls durch  $\beta$ -Zerfall in das Urannuklid U 233 übergeht. Dieses Nuklid ist ebenso wie U 235 durch langsame Neutronen spaltbar. Im HTR findet als Moderator Graphit Verwendung. Kohlenstoff ist besonders gut geeignet, weil Neutronen relativ häufig mit Kohlenstoffatomen zusammenstoßen müssen, um ihre Geschwindigkeit zu reduzieren und zur Umwandlung von Th 233 in Uran 233 schnelle Neutronen vorhanden sein müssen.

Der Brennstoff ist im HTR in kleinen Graphitkügelchen eingelagert, was den Vorteil hat, daß die Brennelemente bei Abbrand einzeln und bei vollem Betrieb aus dem Reaktorcore entfernt werden können. Als Kühlmittel dient im HTR das Edelgas Helium, das auch bei hohen Temperaturen nicht mit den Reaktorwerkstoffen chemisch reagiert. In einem Wärmeaustauscher erhitzt das heiße Gas Wasser; der so entstehende Wasserdampf treibt wiederum eine Turbine an. In HTR sind kaum Steuerstäbe notwendig, da die langsamen Neutronen durch Verzögerung der Kühlmittelzufuhr wieder beschleunigt werden können und somit eine Leistungsminderung des Reaktors erreicht werden kann. Zusätzliche Steuerstäbe dienen lediglich der Feinregulation des Reaktors.

Da das Kühlmittel Helium mit 700–800°C eine wesentliche höhere Temperatur erreicht als das Wasser im Leichtwasserreaktor, findet im HTR eine effektivere Nutzung der Spaltungsenergie statt (40%). Die Möglichkeit, aus nicht spaltbarem Thorium spaltbares Material zu produzieren, sowie der relativ günstige Nutzungsgrad machen den HTR wirtschaftlich attraktiv (vgl. Mattick/Bugel 1975).

Ebenso wie der HTR gewährleistet der „Schnelle Brüter“ eine effektivere Nutzung der Brennstoffvorräte. Im Schnellen Brüter wird aus U 238 spaltbares Plutonium 239 hergestellt – „erbrütet“. Dabei wird das Verhalten der U 238-Kerne beim Zusammenstoß mit schnellen Neutronen genutzt. Nach der Aufnahme eines Neutron wandelt sich U 238 über folgenden Prozeß in Pu 239 um:



Nach einer Anfahrtzeit benötigt der Schnelle Brüter kein U 235 mehr, sondern kann durch Spaltung des beim Brüten gewonnenen Pu 239 Energie erzeugen. Da der Schnelle Brüter pro Zeiteinheit mehr Pu 239 aus U 238 erzeugt, als er für die Energieerzeugung braucht, läßt sich aus ihm auch Brennstoff für den Betrieb in anderen Reaktoren abziehen.

Dem doppelten Zweck entspricht der Aufbau des Reaktorkerns: Im Innern – der sogenannten Spaltzone – befindet sich spaltbares Material, aus dem sowohl Energie als auch die zum Brüten erforderlichen Neutronen erzeugt werden. Der Brutstoff U 238 befindet sich in der Brutzone mantelförmig um die Spaltzone gelegt. Das erzeugte Pu 239 wird zur weiteren Verarbeitung regelmäßig aus dem Reaktor entfernt.

Die Verwendung schneller Neutronen schließt Wasser als Kühlmittel aus, da es die Neutronen zu schnell abbremsen würde. Daher wird zur Kühlung und Energieumsetzung im Schnellen Brüter Natrium verwendet, ein Metall, das bei etwa 100°C schmilzt und infolge seiner relativ hohen Massenzahl (23) den Neutronen nur wenig Energie bei Zusammenstößen abnimmt. Allerdings ist Natrium ein chemisch aggressives Metall gegenüber Luft und Wasser; zudem gerät es schnell in einen hochradioaktiven Zustand. Da Natrium sofort nach Kontakt mit Luft mit dem in ihr befindlichen Sauerstoff unter Energiefreisetzung reagiert, muß der gesamte Primärkühlkreislauf luftfrei gehalten werden (vgl. Traube 1975).

## **7 Umweltbelastung durch Radioaktivität**

### **7.1 Radioaktivitätsabgabe bei Normalbetrieb**

Um eine hohe radioaktive Belastung der Umwelt durch Atomkraftwerke zu vermeiden, ist ein Kernkraftwerk mit mehrstufigen Barrieren gegen den Austritt von Radioaktivität ausgestattet. Die radioaktive Gefährdung durch ein Kernkraftwerk ist physikalisch vielschichtig bestimmbar. Sie beruht auf der bei der Kernspaltung entstehenden Strahlung, der Neutronenstrahlung und radioaktiven Isotopen, die bei der Kernspaltung als Spaltprodukte gebildet werden (über 200). Radioaktive Isotope fallen als flüssige, feste und gasförmige Stoffe an.

Während die festen radiologischen Aktivitäten in der Brennstoffhülle bleiben, weisen die Edelgase Xenon und Krypton sowie leicht-flüchtige Halogene wie Jod und Brom unter den Spaltprodukten eine hohe Mobilität auf. Eine erste Barriere gegen den Austritt dieser flüchtigen Spaltprodukte bildet die gasdicht geschweißte Zirkoniumhülle der Brennstäbe. Allerdings treten nach längerer Betriebsdauer feinste Risse im Brennstabmaterial auf, durch die ein Teil der Spaltprodukte in das Kühlmittel gelangt; zudem vermag das ebenfalls bei der Kernspaltung entstehende radioaktive Tritium (Wasserstoffisotop mit zwei Neutronen im Kern) auch durch die Zirkoniumhülle zu diffundieren.



Die so in das Reaktordruckgefäß gelangenden Aktivitäten sollen durch den zylindrischen Stahlbehälter, der das Kühlmittel und den Reaktorkern umschließt, von der Umwelt zurückgehalten werden. Der Stahl des Reaktordruckgefäßes muß über die gesamte Betriebsdauer des KKW Korrosionswirkungen des Wassers, hohe Temperaturschwankungen, Dampfdruck und Neutronenstrahlung aushalten, ohne daß nennenswerte Risse oder Versprödungen im Material entstehen dürfen. In einem 1200 MW Leichtwasserreaktor beträgt die Wandstärke des Reaktordruckgefäßes  $\approx 15\text{--}20\text{ cm}$ . Die Ausmaße des Druckgefäßes liegen im Schnitt bei  $\approx 15\text{ m}$  für die Höhe und  $\approx 6\text{ m}$  für den Innendurchmesser.

Das Reaktordruckgefäß wird von einer etwa 2 m dicken Betonhülle umschlossen, die ein Austreten der Neutronenstrahlung in die Umgebung verhindern soll (biologisches Schild).

Als vierte Barriere zur Zurückhaltung der Radioaktivität wirkt der Sicherheitsbehälter (Containment), ein kugelförmiger Stahlbehälter von rund 50 m Durchmesser. Das Containment muß im Notfall vollständig dicht sein, da sich in ihm die radioaktiven Stoffe, die bei einer Leckage des Druckgefäßes freigesetzt werden, sammeln sollen. Zwischen dem Sicherheitsbehälter und der fünften Barriere – eine bis zu 1,5 m dicke Stahlbetonhülle – befindet sich ein begehbare Raum, der eine Materialprüfung des Sicherheitsbehälters ermöglicht. Die Stahlbetonhülle hat i. w. den Schutz des Containments vor äußeren mechanischen Einwirkungen wie Explosionen, Flugzeugabstürze u. ä. zu gewährleisten.

Trotz der mehrstufigen Abschirmmaßnahmen wird von einem Kernkraftwerk Radioaktivität, besonders über die Abluft, an die Umwelt abgegeben. Diese radioaktiven Abluftemissionen stammen zum größten Teil aus den durch die Risse im Brennstabmaterial in den Primärkühlkreislauf gelangten Aktivitäten. Mit dem Dampf des Kühlmittels gelangen die gasförmigen radioaktiven Stoffe über die Turbine in den Kondensator, in dem der Wasserdampf wieder zu Wasser abgekühlt wird. Dort werden die radioaktiven Stoffe in eine Abgasanlage gesaugt. Nach Überleiten der Gase in einen Aktivkohlefilter und einer Verweilzeit zum Abklingen eines Teils der Radioaktivität, wird die so gereinigte Abluft an die Umwelt abgegeben. Ebenso wie die Abluft aus dem Kühlmittel wird die Luft aus dem Reaktorinneren über den Filter geleitet, bevor sie der Umgebung zugeführt wird. Neben der Abluft stellen die Abwässer eines Kernkraftwerks eine Quelle radioaktiver Umweltbelastung dar. Feine Undichtigkeiten im Rohrsystem des Primärkühlkreislaufs und des Sekundärkühlkreislaufs können zur Diffusion radioaktiver Stoffe von dem abgeschlossenen System der Primärkühlung in das mit der Umwelt verbundene Sekundärkühlsystem führen. Weitere Umweltbeeinträchtigungen durch Abwässer ergeben sich aus Leckwasserbeständen an Pumpen und Armaturen sowie Laborabwasser, die nach Filtration und Verdampfung ebenfalls der Außenwelt zugeführt werden (vgl. BMFT 1978, S. 115 ff.).

Trotz der Filtermaßnahmen für Abluft und Abwasser ist eine vollständige Zurückhaltung der darin befindlichen radioaktiven Stoffe nicht möglich. Da bisher eine technisch praktikable Lösung zur Zurückhaltung von Krypton 85 und Tritium nicht entwickelt ist, gelangt der größte Teil des in den Kraftwerken anfallenden

Kr-85 und des Tritiums an die Umwelt (vgl. Schwibach/Jacobi 1976, S. 36). Weitere, für die gesundheitliche Bewertung der regionalen und globalen Strahlenexposition der Bevölkerung entscheidende, von einem KKW bei Normalbetrieb abgegebene langlebige Radionuklide sind Xenon 135, Jod 129, Strontium 90, Kohlenstoff 14, Caesium 134 und 137.

Nach der seit dem 1.4.1977 in Kraft getretenen „Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV)“ der Bundesregierung wird die zulässige Strahlenbelastung durch Kernkraftwerke pro Jahr auf 30 mrem begrenzt<sup>5</sup>. Obwohl selbst die höchsten bisher festgestellten Jahresemissionen bundesdeutscher Kernkraftwerke mit  $1,6 \times 10^5$  Ci/a Edelgase (KKW-Lingen 1969) und  $8,9 \times 10^{-2}$  Ci/a Aerosole (KKW-Obrigheim 1973) die zulässigen Höchstwerte unterschreiten (vgl. Bundesministerium des Inneren 1979, S. 23), ist eine Schadenswirkung auf die Umwelt durch die freigesetzten Aktivitäten nicht auszuschließen.

Im folgenden soll zunächst die biologische Wirkung radioaktiver Strahlung dargestellt werden, um daran mit der Diskussion über die Schäden von Niedrigstaktivitäten anzuschließen.

## 7.2 Biologische Strahlungsschäden

Die gesundheitsschädliche Wirkung hoher Strahlendosen ist aufgrund von Erfahrungen mit Personen, die einer exponierten Strahlenbelastung ausgesetzt waren, erwiesen. Unter Grubenarbeitern im Erzgebirge waren Ende des vorigen Jahrhunderts bei regelmäßig 650 Beschäftigten pro Jahr etwa 20 Lungenkrebstote zu beklagen. Ursache der Erkrankungen war das radioaktive Edelgas Radon, das sich in großen Mengen in den Gruben befand. Die frühere Verwendung von Radium 226 zur Herstellung von Leuchtfarben – u. a. für Ziffernblätter bei Uhren – führte zu hohen radioaktiven Belastungen der damit beschäftigten Personen. Bei 780 untersuchten Menschen dieses Tätigkeitsbereichs mußten in 71 Fällen Nasennebenhöhlenkrebs oder bösartige Bindegewebsgeschwulste an Knochen festgestellt werden (vgl. BMFT 1978, S. 225 ff.).

Die umfassendsten Erfahrungen mit der Toxizität radioaktiver Strahlung wurden anhand der Auswirkungen der Hiroshima- und Nagasaki-Bomben gesammelt. Für kurzfristige Ganzkörperbelastungen lassen sich folgende Schädigungen feststellen: Die mit Sicherheit tödliche Kontamination liegt bei Belastungen von über 500 rem. Bei Dosen zwischen 270 und 500 rem sterben etwa 50% der bestrahlten

---

<sup>5</sup> Die Größe rem ist ein Maß für die biologische Wirkung radioaktiver Strahlung. Da verschiedene Strahlenarten unterschiedliche Auswirkungen auf den Menschen haben und zudem in ihrer Wirkung auf die einzelnen Körperteile zu unterscheiden sind, genügt zur Erfassung ihrer biologischen Folgen nicht nur die Messung ihrer Energiedosis, sondern es wird bei den verschiedenen Strahlungsarten eine Größe eingeführt – die relative biologische Wirksamkeit – mit der die Energiedosis einer Strahlung multipliziert wird, so daß unterschiedliche Strahlenarten vergleichbar werden. Es gilt  $1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times \text{RBW}$  (Relative Biologische Wirksamkeit).

Personen. Niedrigere Dosen führen in der Regel nicht mehr direkt zum Tod, können jedoch – oft mit einer Latenzzeit bis zu 20 Jahren – Krebsgeschwüre hervorrufen sowie durch Mutationen von Erbanlagen in den Chromosomen Mißbildungen bei Nachkommen der radioaktiv belasteten Personen bewirken.

Grundsätzlich wirkt die radioaktive Strahlung auf den Körper genauso, wie es bereits für leblose Materie beschrieben wurde. Die Ionisierung von Zellenmolekülen verändert deren chemische Eigenschaften und somit ihre Wirkung im Gesamtstoffwechsel der Zelle. Vermittelt über die sogenannte „feed-back“-Hierarchie zwischen Organismus-Organ-Zelle-Organelle-Makromolekül kann bereits die Zerstörung von einzelnen Molekülen für den Gesamtorganismus Bedeutung erlangen. So führen Veränderungen der Molekularstruktur von Enzymen der Mitochondrien zur Störung des Zellstoffwechsels, die ein Absterben der Zelle bzw. ihre Entartung zur Krebszelle bewirken kann.

Sofern durch Veränderungen des Zellstoffwechsels bzw. der Zellstruktur organische Schäden bei radioaktiv belasteten Personen auftreten, spricht man von somatischen Strahlenschäden. Treffen radioaktive Strahlen auf Zellkerne, sind über Veränderungen der Desoxiribonukleinsäure, die die Substanz der Erbanlagen bildet, Verfälschungen der Erbinformationen möglich, wodurch die genetischen Strahlenschäden auftreten (vgl. Schultz/Vogt 1977, S. 43).

Während  $\alpha$ -Strahlen infolge ihrer hohen Ionisationswirkung sehr viele Körperzellen zerstören können, doch aufgrund ihres hohen Energieverlustes nur  $1/100$  cm lebendes Gewebe durchdringen, d.h. bereits von den oberen Hautschichten absorbiert werden, erreichen  $\beta$ -Strahlen mit einer geringeren Ionisationswirkung im menschlichen Gewebe bereits Eindringtiefen von einigen mm. Das hohe Durchdringvermögen von energiereichen  $\gamma$ -Strahlen in Materie hat zur Folge, daß  $\gamma$ -Strahlen auf den gesamten Körper wirken können, also auch die innen liegenden Organe erreichen. Nach Schultz/Vogt wirkt bereits die kurzfristige Ganzkörperbelastung mit  $\gamma$ -Strahlen tödlich, wenn von der Strahlung eine Energiemenge an den Körper abgegeben wird, die der Wärmemenge eines Eßlöffels mit heißem Wasser entspricht (vgl. ebd., S. 42).

Obwohl  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung relativ leicht abschirmbar sind, können sie vermittelt über inkorporierte Radionuklide Schädigungen im Körper hervorrufen. Die radioaktiven Substanzen werden als gasförmige Stoffe, Staubteile oder Aerosole über die Atemwege in den Körper aufgenommen und an geeigneten Stellen – Kehlkopf, Nasenhöhle, Bronchien – angelagert und dort konzentriert. Feste und flüssige Radioaktivitäten gelangen über die Nahrungsaufnahme in den menschlichen Körper. Mit den durchschnittlich  $20 \text{ m}^3$  Luft, die ein Mensch täglich einatmet, gelangen auch die radioaktiven Emissionen eines KKWs in die Lunge. Von dort aus dringen sie über die Lungenbläschen ins Blut. Kontaminierte tierische und pflanzliche Nährstoffe bewirken eine zusätzliche Inkorporation von Radionukliden beim Menschen. In der Nähe von Kernkraftwerken lagern sich radioaktive Substanzen auf dem oberen Teil von Frischgemüse ab; setzen sich Emissionen auf Weiden ab, gelangen sie über die Nahrungskette Pflanze–Tier–Mensch in den menschlichen Organismus.

Die über Atemwege und Nahrungsaufnahme in den Körper aufgenommenen Aktivitäten werden meistens nicht sofort wieder ausgeschieden, so daß sie aufgrund ihrer teilweise langen Halbwertszeit langfristig empfindliche Organe belasten können. So wird zum Beispiel das radioaktive Jod 131 ebenso wie das stabile Jod 127 in die Schilddrüse eingelagert und bewirkt von dort aus eine Zerstörung der Zellen. Da Strontium 90 ähnliche chemische Eigenschaften wie Kalzium aufweist – eine Grundsubstanz des Knochens – wird es vom Körper an Stelle des Kalziums in die Knochen eingebaut und wirkt dort mit einer Halbwertszeit von 28 Jahren. Besonders hoch ist die Inkorporationswahrscheinlichkeit des Radioisotops Kohlenstoff 14, weil jeder organische Stoff Kohlenstoff enthält und das Isotop C 14 in allen Zellmolekülen an die Stelle des stabilen Isotops C 12 treten kann (vgl. Ärztliches Memorandum 1976; Manstein 1976; BMFT 1978, S. 225 ff.). Nahrungsaufnahme und Atmung ergeben somit für den Menschen mehrstufige Strahlungsexpositionswege: Die in Luft und Wasser befindlichen Stoffe gelangen einmal direkt (Atmung, Trinken) sowie vermittelt über die Ökosysteme Land (Pflanze, Tier) und Wasser (Fisch, Muschel) in den Körper des Menschen.

Sowohl die hohe Latenzzeit radioaktiver Verseuchung als auch die dadurch bedingte Schwierigkeit, einen eindeutigen Kausalzusammenhang zwischen radioaktiver Strahlenbelastung und Krankheitsbildern nachzuzeichnen, bildet die Basis für Verunsicherungen über die Schadenswirkung niedriger radioaktiver Strahlendosen.

### 7.3 Niedrige radioaktive Dosen

In Ermangelung beweiskräftiger Erkenntnisse über die Radiotoxizität geringer Dosen – wie sie von kerntechnischen Anlagen bei Normalbetrieb abgegeben werden – vergleichen die Befürworter der Kernenergie die radiologische Belastung durch KKWe mit der natürlichen und zivilisationsbedingten Strahlenexposition der Bevölkerung und gelangen zu dem Schluß, daß das Strahlenrisiko von KKWe im Vergleich zu sonstigen Strahlenbelastungen vernachlässigbar gering sei. Dabei werden drei Quellen alltäglicher Strahlenbelastungen unterschieden:

*Die kosmische Strahlung*, vorwiegend bestehend aus Protonen und  $\alpha$ -Teilchen, hat ihren Ursprung in der Sonne (solare Komponente) und in den Sternensystemen der Milchstraße (galaktische Komponente). Treffen die Korpuskeln beim Eintauchen in die Erdatmosphäre mit den Gasmolekülen der Luftschicht zusammen, so finden Energieübertragungen von den Strahlungsteilchen auf die Gasmoleküle statt, d. h. es ist eine Absorption dieser Strahlung durch die Luftschicht möglich. Daher wird die Intensität der kosmischen Strahlung mit abnehmender Höhe zum Meeresspiegel abgeschwächt. So beträgt die radiologische Belastung durch kosmische Strahlung in Hamburg 31 mrem pro Jahr, in München 36, erreicht auf dem Feldberg (Schwarzwald) 54 mrem und hat auf der Zugspitze einen Wert von 164 mrem pro Jahr (vgl. BMFT 1976, S. 93).

Die seit der Erdentstehung vorhandenen radioaktiven Isotope einiger chemischer Elemente bewirken die *terrestrische* Strahlenbelastung des Menschen. Ihre Intensi-

tät ist von der geologischen Beschaffenheit der jeweiligen Region abhängig. Sie liegt in der Bundesrepublik um 50 mrem pro Jahr, weist aber bedingt durch die unterschiedliche Bodenbeschaffenheit erhebliche Extreme auf: Während die terrestrische Strahlenbelastung in Schleswig-Holstein bei 14 mrem pro Jahr liegt, erreicht sie auf dem Katzenbuckel bei Eberbach in Baden-Württemberg 1800 mrem im Jahr.

Hauptverursacher der terrestrischen Strahlung sind die im Boden vorkommenden radioaktiven Isotope des Kalium 40 sowie die Radionuklide der Uran-, Thorium und Radiumzerfallsreihen. Aufgrund des hohen Anteils von Kalium im Granit, hat Granit eine mehr als  $4\frac{1}{2}$  mal so hohe natürliche Strahlungsintensität als Basalt. Die Verwendung natürlicher Gesteine als Baustoff bzw. Baustoffgrundlage trägt ebenfalls je nach Art des verwendeten Materials zur terrestrisch bedingten Strahlenbelastung der Bevölkerung bei (vgl. Bundesministerium des Innern 1979, S. 18f.).

Durchschnittlich 30 mrem pro Jahr beträgt die inkorporierte Strahlung im menschlichen Körper, die über das Trinkwasser, die Atemwege sowie über pflanzliche und tierische Nahrung in den Körper gelangt. Somit erreicht die natürliche Strahlenbelastung des Menschen durch Umwelteinflüsse in der BRD etwa 110 mrem pro Jahr Ganzkörperdosis. Aufgrund spezifischer Anreicherungsvorgänge liegt sie für einige Körperbereiche wesentlich höher: Knochen ca. 160 mrem, Gonaden 120 mrem, Lungen 1200 mrem.

Der natürlichen Strahlenbelastung sind *zivilisationsbedingte* Strahlenbelastungen bis zu 60 mrem pro Jahr hinzuzufügen, die ihre Ursache zum größten Teil in der medizinischen Anwendung von Röntgenstrahlen (50 mrem jährlich) und in dem auf frühere Atomwaffenversuche zurückzuführenden radioaktiven „fall-out“ von 1 mrem/Jahr haben (vgl. ebd., S. 17).

Sowohl die im Vergleich zu der übrigen Strahlenbelastung geringen Dosis von 1 mrem pro Jahr Belastung durch Kernkraftwerke als auch die regional bedingten erheblichen Unterschiede in der natürlichen Strahlenbelastung werden von Kernkraftwerksbefürwortern als Argument für die angebliche Vernachlässigbarkeit der Radioaktivität eines KKWs angeführt. Als zusätzlich besänftigendes Argument taucht häufig der Vergleich mit Strahlenexpositionen auf, die in Folge kultureller Selbstverständlichkeiten wie Farbfernseher (1 mrem/a) und Ferienflug nach Mallorca (1 mrem/Flug) hingenommen werden (vgl. Schweizerische Vereinigung für Atomenergie 1976).

Während sich jedoch die Bundesregierung bezüglich der Ursachen von Krebs-, Leukämie- und Mißbildungsfällen in der BRD noch dem „wissenschaftlich begründet(en) Verdacht, daß einige dieser Fälle durch die Kernenergienutzung verursacht sein können“ (BMFT 1976, S. 98), anschließt, hält J. Koppe in einer von den Hamburger Electricitätswerken und den Nordwestdeutschen Kraftwerken herausgegebenen Broschüre die radiologischen Abfälle eines KKWs für „völlig bedeutungslos“ (Hamburgische Electricitätswerke/Nordwestdeutsche Kraftwerke 1976, S. 18), und Gerwin betont schlicht: „Radioaktivität ist im Grunde genommen eine ganz natürliche Sache“ (Gerwin 1977, S. 77).

Allerdings läßt sich empirisch eine Korrelation zwischen der Häufigkeit von Krebschäden und der Belastung durch Niedrigaktivität feststellen. In jedem Fall ist die Behauptung eines radiotoxischen Schwellenwerts, d.h. einer Dosis, unterhalb derer die Strahlung für die menschliche Gesundheit bedeutungslos wäre, zurückzuweisen: So berichtet E. Sternglass, Direktor des radiologischen Instituts der medizinischen Universität Pittsburgh/Pennsylvania, von einem Anstieg der Lungenkrebsrate in der Kleinstadt Midland/Pennsylvania um 600% sieben Jahre nach Inbetriebnahme des 2 km entfernten Shipping-Port Reaktors (vgl. Sternglas 1976, S. 41f.). Nach einer Untersuchung im Staate New-York liegt die Rate der Mißbildungen bei Familien, die durch geologische Besonderheiten einer größeren terrestrischen Strahlung als der Bevölkerungsdurchschnitt ausgesetzt sind oder die mit besonders radiumhaltigen Wasser versorgt werden, um 4,3 Geburten/1000 höher als beim Durchschnitt der Gesamtbevölkerung (vgl. Taylor 1971, S. 212). Unter Uranbergarbeitern wurde eine überdurchschnittliche hohe Rate an Krebskrankheiten festgestellt (vgl. ebd., S. 209), und in Waltz Mill/Pennsylvania stieg die Säuglingssterblichkeit von 23,4 auf 43,8 pro 1000 Lebendgeburten innerhalb eines Jahres nach Freisetzung von 5000 Ci durch den dort betriebenen Testreaktor (vgl. Strohm 1977, S. 116).

Der Leiter des Gesundheitsamtes von Jefferson bei Denver/Colorado berechnete als Auswirkung der nordwestlich von Denver betriebenen Kernwaffenfabrik, daß pro einer Millionen Einwohner des Gebiets 160 Menschen mehr als normalerweise an Krebs sterben werden (vgl. Frankfurter Rundschau v. 27.9.77, S. 18).

Die erwähnten Beispiele lassen die Eindeutigkeit von Aussagen der Kernenergiebefürworter über die Unschädlichkeit kleiner Strahlenmengen als falsch erscheinen. Zudem besteht zwischen der natürlichen Radioaktivität und den radiologischen Emissionen eines KKWs ein qualitativer Unterschied, der einen Vergleich auf rein quantitativer Ebene unredlich macht.

Während die natürliche radioaktive Strahlung zum größten Teil von der Kleidung bzw. der Haut von den Organen ferngehalten wird, setzen die KKWs strahlende Materieteilchen frei, die – wie beschrieben – vom Körper aufgenommen werden und daher aus unmittelbarer Nähe mit langer Halbwertszeit lebenswichtige Organe bestrahlen. Die Unvergleichbarkeit der materielosen natürlichen Strahlung mit den radioaktiven Stoffen eines Kernkraftwerkes verbietet auch die Inbezugsetzung der radiologischen Aktivitäten eines KKWs zu den medizinisch angewendeten Röntgenstrahlen. Letztere durchstrahlen den Körper lediglich, anstatt sich mit radiotoxischer Langzeitwirkung in ihm festzusetzen.

Verbunden mit dem Materiecharakter der Kraftwerksaktivitäten ist das Problem der Anreicherung von Radioisotopen in der Biosphäre, wovon der Mensch als Endglied zahlreicher Nahrungsketten besonders betroffen ist. In einem von der amerikanischen Atomenergiekommission durchgeführten Experiment zur Erforschung der biologischen Anreicherung von Radionukliden in der Umwelt wurde durch Stauung eines Flusses ein 22 ha großer See geschaffen, in den radioaktiver Abfall gepumpt wurde. Während die Ausgangskonzentration radioaktiven Caesiums im See nur 0,00033 Mikrocurie betrug, ließ sich in den aus dem See gefangenen

Barschen eine 35 mal höhere Konzentration nachweisen. Bei Blaukehlchen, die sich von Insekten ernährten, welche wiederum von Algen aus dem See lebten, fand man eine 2000 mal größere Konzentration an Phosphor 32 und eine 8720 mal höhere Konzentration an radioaktivem Zink als im See (vgl. Taylor 1971, S. 211).

Auch in Krebstieren und Muscheln reichern sich die Radionuklide an. Das über Abwässer aus KKWe zu den Fischen gelangende Caesium 137 kann im Fisch die 4000fache Konzentration vom Gewässergehalt erreichen (vgl. BMFT 1978, S. 241). Bekannt ist der Anreicherungs-pfad für radioaktives Jod, das nach Ablagerungen im Gras von Kühen gefressen wird, sich in der Milch konzentriert und vom menschlichen Körper aufgenommen wird. Die Konzentration von Jod 131 in der Kuhmilch erreicht etwa das 5000fache der Konzentration von Jod 131 in der Luft über der Weide (vgl. ebd., S. 233).

Der Umstand der Anreicherung und die Tatsache bisher geringer Erfahrungen können dazu beitragen, daß die heute noch in geringen Mengen bedenkenlos abgegebenen Radionuklide in einigen Jahrzehnten umfangreiche Schäden herbeiführen.

Auf einem vom Deutschen Atomforum veranstaltetem Symposium über die Entsorgung der Kerntechnik warnen daher die Referenten Schwibach vom Bundesgesundheitsamt und Jacobi von der Gesellschaft für Strahlen und Umweltforschung vor einem allzu leichtfertigen Umgang mit der Tatsache, daß das in kerntechnischen Anlagen produzierte Krypton 85 heute noch an die Umwelt abgegeben wird. Während die geringen Konzentrationen bisher noch sorglos betrachtet werden, ist bei einer zu erwartenden weltweiten Kernenergieproduktion von 3000 GW im Jahre 2000 mit einem 300 mal höherem Konzentrationsgrad des Kr 85 in der Luft zu rechnen. Damit erreicht die globale radioaktive Belastung der Haut allein durch dieses Radionuklid über 100 mrem im Jahr (vgl. Schwibach/Jacobi 1976, S. 42).

Ein weiteres Risiko liegt in der möglichen Steigerung der Gefährlichkeit von Radionukliden durch Zusammenwirken mit anderen schädlichen Einflüssen – fachsprachlich als Synergismus bezeichnet.

Die Bundesregierung: „Bisher liegen sowohl aus dem nationalen wie internationalen Bereich nur wenig Erfahrungen über synergistische Effekte vor“ (Bundestagsdrucksache 1977, S. 28).

Dabei ist in Einzelfällen die Gefährlichkeit der Kombination von gewöhnlichen Luftverschmutzern mit radioaktiven Isotopen nachgewiesen. Während z. B. Hämatitstaub, der von Eisenhütten an die Luft abgegeben wird, selbst kein Lungenkrebs erzeugt, verursacht er in Kombination mit dem radioaktiven Edelgas Radon eine hohe Lungenkrebsrate (vgl. Sternglass 1976, S. 39).

Der Zusammenhang zwischen niedrigen Strahlenexpositionen und dem Ansteigen von Krebsraten sowie die relativ unerforschten Folgeproblemen von Anreicherungs-vorgängen und synergistischen Effekten verbieten eine eindeutige Aussage für die Unschädlichkeit der durch Kernkraftwerke freigesetzten Radioaktivität. Nicht unbegründet rät das Wissenschaftliche Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von Atomstrahlen (UNSCEAR) den nationalen Regierungen, For-

schungsschwerpunkte im Bereich „Wirkung kleiner Dosiswerte“, „genetische Auswirkungen“ sowie „Zusammenwirkung von Strahlung und anderen Umweltbelastungen“ zu unterstützen (vgl. Bundesministerium des Inneren 1979 a, S. 10).

Auch die medizinische Diskussion über die Wirkung radioaktiver Dosen macht deutlich, wie gering das heutige Wissen über die Folgen kleiner Strahlungsdosen ist. Während noch bis vor einigen Jahren ein proportionales Verhältnis von Strahlendosis und Krebswahrscheinlichkeit angenommen wurde, wird heute die Frage aktuell, ob nicht gerade bei kleinen Dosiswerten mit einer höheren karzinogenen Wirkung gerechnet werden muß (vgl. Frankfurter Rundschau v. 26. 4. 79, S. 18). Plausibilität gewinnt diese Vermutung durch die Überlegung, daß hohe Strahlendosen eine Körperzelle sofort zerstören, kleine Strahlungsmengen unter Umständen nur zu einer Schädigung einzelner Zellteile führen, was eine Umfunktionierung ihrer natürlichen Bedeutung bewirken kann.

In diesem Zusammenhang erwecken die zitierten verharmlosenden Aussagen der Kernenergiebefürworter den Eindruck, daß durch Aufstellen von Ungefährlichkeitspostulaten Zweifel an der „Sauberkeit“ kerntechnologischer Energiegewinnung bereits im vorwissenschaftlichen Stadium ausgeräumt werden sollen, anstatt durch eine lediglich der menschlichen Gesundheit verantwortlichen Forschungspraxis die Kenntnisse des Zusammenhangs zwischen geringen Radioaktivitätsmengen und Erkrankungen zu optimieren.

Die Internationale Atom Energie Agentur (IAEA) ist da ehrlicher: „Wenn der Mensch die Vorteile der Kernenergie genießen will, so soll er sich darüber klar sein, daß er ein gewisses Risiko eingeht. ... Vom Gesichtspunkt des Strahlenschutzes wird vermutet, daß jede Dosis das Risiko für biologische Schäden enthält“ (vgl. IAEA 1972, S. 12).

## 7.4 Entsorgung

Während die Schädlichkeit der beim Betrieb von Kernkraftwerken ständig freigesetzten Radioaktivität umstritten ist, ist die sicherheitstechnische Notwendigkeit der Beseitigung des zum Teil hochradioaktiven Atommölls allgemein anerkannt.

Nach einem Jahr Betriebsdauer eines Leichtwasserreaktors sind etwa 30% der Elemente abgebrannt, d.h. der U 235-Anteil ist von 3% auf 1% gesunken, U 238 befindet sich noch zu 95% in den Brennelementen. Die restlichen 4% setzen sich aus hochradioaktivem Plutonium (1%) und Spaltprodukten zusammen. Um ein funktionsfähiges Mischungsverhältnis der Uranisotope aufrechtzuerhalten, müssen die Brennelemente etwa im Dreijahreszyklus ausgetauscht werden.

Für 1985/86 schätzt das Deutsche Atomforum die Menge der jährlich in der BRD anfallenden abgebrannten Brennelemente auf 1000 t (vgl. Deutsches Atomforum 1976, S. 16). Allein ein Reaktor der Größenordnung des KKW Biblis produziert jährlich 265 kg Plutonium, ein hochgiftiges radioaktives Element, das unter allen Umständen von der Biosphäre ferngehalten werden muß (vgl. DER SPIEGEL, 47/1976, S. 46).



Neben den regelmäßig zu beseitigenden Brennstoffabfällen müssen verbrauchte, aktivierte Kraftwerksteile sicher aufbewahrt werden. Darüber hinaus ist es notwendig, Vorsorge für die Endbeseitigung radioaktiver Bauteile aus stillgelegten Anlagen zu treffen. Der Reaktordruckbehälter, seine Einbauten sowie das biologische Schild bilden die Hauptquelle des Aktivitätsinventars eines stillgelegten Reaktors.

Es ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, auf technologische Einzelheiten der Entsorgung, die von der Funktion und Arbeitsweise einer Wiederaufarbeitungsanlage (WAA) über Transportprobleme des radioaktiven Abfalls bis zur Endlagerung des Atommülls reichen, einzugehen.

Da jedoch eine Beurteilung von Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsfragen der Kerntechnologie ohne eine Berücksichtigung ihrer Folgeprobleme nicht möglich ist, soll an dieser Stelle in groben Zügen der die Entsorgung beinhaltende Brennstoffkreislauf skizziert werden.

Da die abgebrannten Brennelemente noch 1% spaltbares U 235 sowie ebenfalls noch im Reaktor verwendbares Plutonium enthalten, werden die Brennelemente nach etwa halbjähriger Lagerzeit in Wasserbecken, bei der ein Teil der hohen Radioaktivität abklingt, der Wiederaufarbeitungsanlage zugeführt. Der Transport erfolgt auf standardisierten Transportwegen mit Hilfe von bis zu 120 t schweren Spezialbehältern, die 20 Brennelemente aus einem Leichtwassereaktor aufnehmen können. Bis 1977 wurden 470 t Brennelemente zur Wiederaufarbeitung aus den Bundesdeutschen Reaktoren ausgelagert, nur knapp  $\frac{1}{5}$  dieser Elemente konnte bisher behandelt werden. Der größte Teil davon (60%) verarbeitete die WAA Karlsruhe. Aufgrund fehlender Kapazitäten für die Wiederaufarbeitung in der BRD, muß ein Teil der Brennelemente an die französische Anlage in La Hague zur Aufarbeitung geliefert werden. Allerdings ist eine vertraglich gesicherte Nutzung für die französische und ggf. für die englische Anlage für die westdeutsche Atomindustrie nur bis Anfang der 80er Jahre gewährleistet (vgl. BMFT 1978, S. 180).

Um die Spaltprodukte von dem Uran 235 und dem Plutonium zu trennen, müssen die Brennelemente zunächst mechanisch zerkleinert und anschließend in heißer, halbkonzentrierter Salpetersäure aufgelöst werden. Unlösliche Brennstabhüllenteile bilden den bei diesem Vorgang anfallenden hochradioaktiven festen Abfall (bis zu 4 Mio Ci/m<sup>3</sup>). Nach Auflösung und Filtration erfolgt über drei Extraktionszyklen die Trennung des Urans vom Plutonium sowie die Reinigung des wiedergewonnenen Brennstoffs. Dabei bleiben hoch- und mittelaktive ( $0,1 - 10^4$  Ci/m<sup>3</sup>) Abfälle zurück (vgl. Schüller 1976). Nach dem derzeitigen Entwicklungsstand der Kerntechnik werden allein in der BRD bis 1990 hochradioaktiver Abfall von 100 m<sup>3</sup> und mehrere 10000 m<sup>3</sup> schwach- und mittelaktiver Atommüll zu beseitigen sein (vgl. DER SPIEGEL 47; 1976, S. 47 und 49).

Je nach Abfallart werden die schwach- und mittelaktiven Müllbestandteile mit Beton, Kunststoff, Bitumen oder Glas verfestigt, in Fässer eingeschlossen und in einem Endlager abgelegt.

Hochradioaktive Abfälle lagern zunächst ein Jahr in Edelstahlbehältern, ehe sie weiter bearbeitet werden können. Weltweit befinden sich derzeit rund 100000 m<sup>3</sup>

hochaktiver Abfall in dieser Zwischenlagerphase (vgl. Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen 1978, S. 38).

Von den in der kerntechnischen Forschung diskutierten Alternativen zur Endlagerung des Atommülls, die von der Einlagerung ins polare Eis bis zum Abschluß in den Weltraum reichen (vgl. Ramsey 1976), strebt die Kernindustrie in der BRD die Endlagerung des radioaktiven Mülls in Salzstöcken an. Die lange Halbwertszeit einiger Isotope erzwingt einen sicheren Verschuß des Abfalls über einen Zeitraum von mehreren Jahrtausenden. Nach Auffassung der Kernenergieagentur der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, ist bei einigen Isotopen die Radioaktivität erst nach 100 000 Jahren auf eine ungefährliche Größe abgeklungen (vgl. OECD-Kernenergieagentur 1977, S. 77). Salzstöcke erweisen sich deshalb als Endlagerstätte gegenüber anderen geologischen Formationen als vorteilhaft. Ihre hydrologische Stabilität macht einen Wassereintritt in die Lagerkammern unwahrscheinlich; zudem besitzt Steinsalz eine gute Wärmeleitfähigkeit, so daß die Ableitung der beim Zerfall des hochradioaktiven Mülls entstehenden Wärme garantiert ist (vgl. Kühn 1976).

Sicherheitsprobleme, die hier nicht im einzelnen erörtert werden können, jedoch für eine Betrachtung der Probleme der Kernenergie bedeutsam sind, treten sowohl bei der WAA, beim Transport des radioaktiven Abfalls sowie bei der Endlagerung auf. So werden durch Freisetzung langlebiger leichtflüchtiger Radionuklide durch die WAA die radiologischen Emissionen erhöht; Tanks für die Zwischenlagerung der hochaktiven Flüssigkeiten müssen vor jeglicher Leckage bewahrt werden.

Aufgrund der hohen Aktivität des Abfalls ist es erforderlich, die beim Transport anfallenden Wärmemengen abzuleiten; ein Ausfall der Behälterkühlung kann zum Bersten und somit zur Freisetzung erheblicher Mengen leichtflüchtiger radioaktiver Substanzen führen (vgl. Rammensee 1977).

Innerbetriebliche Unfallgefahren in der Endlagerstätte (Förderanlagen, Streckenfahrzeuge) tragen ebenfalls zur Erhöhung des Gesamtrisikos der Kernenergie bei. Um die zwischen Kernkraftwerk, Wiederaufarbeitungsanlage, Brennelementfertigung und Endlagerung liegenden Transportwege zu minimieren, sah das Entsorgungskonzept der Bundesregierung vor, am Standort Gorleben im Kreis Lüchow-Dannenberg auf einem 12 km<sup>2</sup> großen Gelände folgende kerntechnische Anlagen terminlich gestaffelt bis 1994 in Betrieb zu nehmen: ein Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente (ab 1985), eine WAA (ab 1990), eine Fertigungsfabrik für Brennelemente zur Wiederverarbeitung zurückgewonnener Spaltstoffe (ab 1990), Anlagen für die endlagerungsfähige Aufbereitung der radioaktiven Abfälle (ab 1991) sowie ein Endlager für die Abfälle (ab 1994) (vgl. Schüller 1978, S. 10).

Nach den Planungen der für Bau und Betrieb des Entsorgungszentrums zuständigen kerntechnischen Industrie soll die Lagerungskapazität des Eingangsbeckens für die abgebrannten Brennelemente 3000 t betragen; in der WAA sollen Brennelemente mit einem Urangehalt von insgesamt 1400 t pro Jahr aufbereitet werden.

Allerdings begründen Zweifel an der geologischen Stabilität des für die Endlagerung vorgesehenen Salzstocks, Angst vor den biologischen Folgen kerntechnisch bzw. chemisch bedingter Unfälle sowie die Sorge um die radiologische Belastung der

Umwelt Widerstand in der Bevölkerung gegen die Entsorgungspläne von Bundesregierung und Atomindustrie.

Ob angesichts der Auseinandersetzungen um das Entsorgungszentrum die Arbeitsfähigkeit der Anlage in den geplanten Zeiträumen zu gewährleisten ist, erscheint ungewiß. Selbst die Entscheidung über den Umfang der baulichen Maßnahmen für kerntechnische Anlagen in Gorleben war fünf Jahre vor der geplanten Inbetriebnahme der ersten Anlage politisch noch nicht abgesichert:

Während die Bundesregierung in Einklang mit der Deutschen Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (DWK) auf eine Umsetzung der Planungen drängt, kündigt der niedersächsische Ministerpräsident, in dessen Genehmigungskompetenz die Errichtung und der Betrieb der Anlage fallen, im August 1977 an, ohne Zeitdruck die Eignung des Standorts prüfen zu wollen; gleichzeitig schlug er als Alternative vor, in Spitzbergen oder Grönland eine europäische Entsorgungsanlage zu entwickeln (vgl. Frankfurter Rundschau v. 20.8.77, S. 1).

Im politischen Ringen zwischen der niedersächsischen Landesregierung und der Bundesregierung um die Realisierung des Gorleben-Projekts nimmt die geplante Wiederaufarbeitungsanlage – integrierender Bestandteil des Entsorgungszentrums – einen zentralen Stellenwert ein. So wurde von Seiten der Landesregierung im Juni 1979 dem Bund empfohlen, „das Projekt Wiederaufarbeitung in Gorleben nicht weiter zu verfolgen“ (Niedersächsische Landesregierung, Pressestelle 1979 a).

Die knapp drei Wochen später von Ministerpräsident Albrecht gegenüber Landwirten aus dem Raum Lüchow-Dannenberg abgegebene Zusicherung: „Für die niedersächsische Landesregierung ist die Wiederaufarbeitungsanlage in Gorleben vom Tisch“ (Niedersächsische Landesregierung, Pressestelle 1979b), mag zwar kurzfristig zur Besänftigung der betroffenen Bevölkerung geeignet sein; eine Aufhebung der ursprünglichen Pläne beinhaltet sie indessen nicht:

Als im Herbst 1979 immer noch keine endgültige Entscheidung aus der niedersächsischen Landeshauptstadt Hannover für das Projekt vorlag, forderte der Deutsche Industrie und Handelstag die Bundesregierung auf, von ihrem – nach Artikel 84 GG garantierten – Weisungsrecht gegenüber der Landesregierung Gebrauch zu machen, „wenn die niedersächsische Landesregierung Genehmigungsentscheidungen von der Zustimmung der Landesverbände aller Parteien oder gar von der lokalen Zustimmung der betroffenen Bürger abhängig machen würde“ (zitiert nach Frankfurter Rundschau vom 19.9.79).

Bereits in seiner Regierungserklärung im Mai 1979 machte Albrecht deutlich, daß sein Widerstand gegen die Entsorgungspläne der Bundesregierung nicht sicherheitspolitischen Bedenken folgt, sondern von taktischen Opportunitätserwägungen geleitet ist: „Obwohl es gesetzlich möglich wäre – und dies aus gutem Grund –, hält die Landesregierung es nicht für richtig, eine Wiederaufarbeitungsanlage zu bauen, solange es nicht gelungen ist, breite Schichten der Bevölkerung von der Notwendigkeit und sicherheitstechnischen Vertretbarkeit der Anlage zu überzeugen“ (Niedersächsische Landesregierung, Pressestelle 1979c).

Auch die Atomenergiewirtschaft orientiert sich offenbar an dem Prinzip, aufgescho-

ben ist nicht aufgehoben: Auf einer Konferenz der Wirtschaftsminister im Spätsommer 1980 schlug der Vorstandsvorsitzende der Deutschen Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen, G. Scheuten, vor, bis zum Jahre 2000 zur Lösung der Entsorgungsproblematik zwei kleine Wiederaufarbeitungsanlagen mit einer Verarbeitungskapazität von 350 t Uran abgebrannter Brennelemente sowie eine größere Anlage mit einer Kapazität von 700 t Uran/a in Betrieb zu nehmen; damit wäre – freilich um zehn Jahre verzögert – die gleiche Aufarbeitungskapazität erreicht, die mit der Realisierung der Gorleben-Pläne angestrebt wurde. Doch ob der für das Jahr 2000 geschätzte Abfallberg von 5000–10300 t Uran aus abgebrannten Brennelementen umweltentlastend verarbeitet werden kann, ließ auch Scheuten offen, indem er beklagte, daß „die endgültige Entsorgungslösung politisch noch nicht entschieden ist“ (Frankfurter Rundschau v. 26.9.80, S. 10).

Angesichts der Realisierungsschwierigkeiten für die Entsorgungspläne bleibt die Frage nach einer sicheren Beseitigung des in den nächsten Jahren anfallenden radioaktiven Abfalls vorerst ungeklärt.

Auch die Empfehlung der Bund-Länder-Kommission Anfang Juli 1979, die Genehmigung für den Bau neuer Kraftwerke nicht mehr wie bisher an den Nachweis eines integrierten Entsorgungskonzepts zu binden, sondern bereits die Inbetriebnahme von Zwischenlagern als ausreichenden Entsorgungsnachweis zu akzeptieren, erweckt wenig Zuversicht hinsichtlich der Bewältigung des Atommüllproblems (vgl. BMFT 1980, S. 5). Immerhin mußte die Bundesregierung im Mai 1981 bereits die staatliche Verwahrung von Uran und Plutonium in einem Lagerbunker des Brennelementherstellers ALKEM anordnen, weil vor allem aus Frankreich Plutonium aus aufgearbeiteten Brennelementen zurückgenommen werden muß, für das es keine endgültig genehmigte Lagerstätte gibt (vgl. Frankfurter Rundschau vom 6.5.81, S. 4).

Doch selbst die Verwirklichung der Gorleben-Pläne, der Vorschläge Albrechts zur Errichtung von Langzeitzwischenlagern oder der seit Herbst 1979 zunehmend ernsthafter angestellten Überlegungen zur dezentralen Wiederaufarbeitung mit mehreren regional verteilten Anlagen birgt beunruhigende – politische – Dimensionen: Bereits die Probebohrungen zur Untersuchung des Salzstocks in Gorleben konnten nur hinter einem massiven Polizeiaufgebot stattfinden, das düstere Visionen aufkommen läßt über das Ausmaß zukünftig notwendiger staatlicher Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen zur Durchsetzung und Sicherung der Kerntechnologie. Von den etwa 30 Mio DM, die diese Bohrarbeiten bis Mai 1981 gekostet hatten, entfielen rund 14 Mio DM auf polizeiliche und andere Sicherheitsmaßnahmen (vgl. Weser-Kurier vom 16./17.5.1981, S. 1). Allein zur Verhinderung einer mißbräuchlichen Verwendung radioaktiver Stoffe ist ein umfassendes Kontrollsystem notwendig. Doch trotz detailliert geregelter Transportbestimmungen für radioaktive Substanzen kommt es hin und wieder zu Fehlbeständen: So fand sich auf dem Lagerplatz eines Londoner Schrotthändlers 75 kg verbrauchtes Uran an (vgl. Frankfurter Rundschau v. 1.10.77, S. 8); auf einem Kinderspielfeld in Wiesbaden wurde ein Paket mit radioaktivem Jod 131 entdeckt (vgl. Frankfurter Rundschau v. 28.10.77, S. 18). Im September 1979 verschwanden sogar 9 kg hochangereichertes

Uran aus einer Kernbrennstofffabrik im US-Staat Tennessee (vgl. Frankfurter Rundschau v. 20. 9. 79, S. 22). Erst im September 1980 erfuhr die Öffentlichkeit aus einem Bericht der Fernsehanstalt BBC, daß auf dem Gelände des experimentellen Schnellen Brüters in Dounray, Schottland, 1973 und 1977 je ein Plutoniumbehälter mit 10 bzw. 25 Gramm des hochgiftigen radioaktiven Plutoniums verlorengegangen ist. Einen Eindruck über die Sorge der Werksbetreiber um die Sicherheit der Beschäftigten und der Bevölkerung lieferte der Bericht gleich mit: Für die Suche nach dem vermißten Material soll ein taubstummer Baggerführer eingesetzt worden sein, dem man allerdings weder Schutzkleidung noch Informationen über die Gefährlichkeit seines Auftrages gegeben haben soll (vgl. Frankfurter Rundschau v. 9. 9. 80, S. 2).

## **8 Sicherheitstechnik und Risikophilosophie**

### **8.1 Der größte anzunehmende Unfall (GAU)**

Obwohl aus technischen und naturgesetzlichen Gründen eine atombombenähnliche Explosionsgefahr bei einem Atomkraftwerk ausgeschlossen ist<sup>6</sup>, würden Reaktorunfälle, die zu einer Freisetzung des im Reaktor angesammelten radioaktiven Materials führten, in ihrer lebensvernichtenden Wirkung die Katastrophe der Hiroshima-Bombe reproduzieren, wenn nicht gar übertreffen.

Bereits in einem 1000 MW Kernkraftwerk sammeln sich nach einem Betriebsjahr mehr radiologische Aktivitäten an, als bisher in allen Kernwaffentests an die Umwelt abgegeben worden sind. „Wenn diese radioaktiven Stoffe in erheblichem Maße in die Umgebung gelangen würden, so hätte dies katastrophale Folgen für Leben und Gesundheit der Bevölkerung sowie für materielle Werte in der Umgebung eines Kernkraftwerks“ (BMFT 1976, S. 56), unterstreicht der Bundesminister für Forschung und Technologie, und Sir Brian Flowers, britischer Nuklearenergieexperte, vermutet Auswirkungen eines derartigen Unfalls auf die nächsten 50 Generationen (vgl. ZEIT-Sonderdruck 1977, S. 22). Selbst bei Freisetzung von 1‰ des Radioaktivitätsinventars befürchtet die Bundesregierung katastrophale Folgen (vgl. BMFT 1978, S. 277). Sogar in exponierten Streitschriften von Vertretern der Kernindustrie werden die verheerenden Auswirkungen der Freisetzung großer Radioaktivitätsmengen nicht abgestritten, sondern im Gegenteil durch Betonung der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit derartiger Katastrophen implizit bestätigt (vgl. Gerwin 1977, S. 112 f.; Hamburgische Electricitätswerke/Nordwestdeutsche Kraftwerke 1976, S. 25 ff.).

---

<sup>6</sup> Während in einer Atombombe der Gehalt an spaltfähigem Material etwa 93% beträgt, liegt sein Anteil im Leichtwasserreaktor bei etwa 3%. Zudem würde die durch zunehmende Spaltprozesse anwachsende Temperatur das Abbremsen der Neutronen behindern, so daß die Zahl der spaltfähigen Neutronen reduziert werden würde.

Während in der öffentlichen Diskussion die Folgen eines solchen Unfalls unumstritten sind, entzündeten sich an Risikoanalysen über die Eintrittswahrscheinlichkeit schwerer Störfälle heftige Auseinandersetzungen. Da die ca. 35jährige Betriebserfahrung mit Kernkraftwerken in aller Welt für den wissenschaftlichen Nachweis der Stichhaltigkeit von Sicherheitsanalysen unzureichend ist, haben die Diskussionen prognostizierende Annahmen über die Verlässlichkeit passiver und aktiver Sicherheitssysteme zur Grundlage, die ergänzt werden durch Einbeziehung von Risikofaktoren wie menschliches Versagen und im Bereich von Naturkatastrophen liegende Zufallsereignisse.

Bereits in der hypothetischen Vermutung über den größten anzunehmenden Unfall (GAU) herrscht Uneinigkeit. So beschränken sich die Kernenergiebefürworter in ihren Risikobetrachtungen auf das mögliche Versagen von Betriebssystemen und unterstellen für einen dadurch eintretenden kritischen Betriebszustand die Funktionalität dafür eingerichteter Sicherheitssysteme. Eine Unterbrechung der Reaktorkühlung durch Schäden in der Hauptrohrleitung für das Kühlmittel und die damit verbundene Überhitzung des Reaktorcores wird in diesem Rahmen als „möglicher Schaden mit den ernstesten Folgen“ (Hamburgische Electricitätswerke/Nordwestdeutsche Kraftwerke 1976, S. 26) angesehen, die sich jedoch aufgrund erfolgreich einsetzender Sicherheitsvorkehrungen auf Materialschäden innerhalb des Reaktors beschränken würden. „Selbst die im Kernkraftwerk Beschäftigten blieben ausreichend geschützt“ (Gerwin 1977, S. 113).

Dagegen bezweifeln die Kernenergiegegner die technische Verlässlichkeit der Noteinrichtungen und leiten daraus die Möglichkeit eines „Super-Gaus“ ab, der bei gleichzeitigem Versagen von Betriebs- und Sicherheitssystemen zur Freisetzung erheblicher Radioaktivitätsmengen an die Umwelt führen würde (vgl. Stein 1977, S. 38).

Im folgenden sollen die unterschiedlichen Positionen über die Funktionalität der Sicherheitstechnik in einem Kernkraftwerk im Zusammenhang mit möglichen Unfallursachen beleuchtet werden. Eine anschließende Betrachtung der Risikophilosophie von Kernenergiebefürwortern unter Berücksichtigung der wirtschaftlich bedeutsamen Interdependenz von Sicherheitsvorkehrungen und Bau- bzw. Betriebskosten unterstreicht die politische Brisanz der bei wissenschaftlicher Redlichkeit derzeit nicht absolut sicher zu beantwortenden Sicherheitsfrage bei Kernkraftwerken.

## **8.2 Sicherheitssysteme**

In der im Rahmen des „Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977–1980“ von der Bundesregierung geplanten Sicherheitsforschung für KKWe nimmt die technische Bewältigung von Folgeproblemen eines ausfallenden Kühlkreislaufts eine hervorragende Stellung ein (vgl. BMFT 1977, S. 99). Dieses ist mit der Gefährlichkeit eines derartigen Vorfalls begründbar, der etwa durch Brüche im Rohrsystem des Kühlkreislaufts oder durch Pumpenausfall bzw. -blockade eintreten kann.

Bei einer Unterbrechung der Reaktorkühlung würde sich die Temperatur des Brennstabhüllenmaterials von etwa 300°C bei Normalbetrieb in kurzer Zeit auf einige 1000°C erhitzen. Selbst ein sofortiges Abschalten des Reaktors durch vollständiges Einfahren der Steuerstäbe zwischen die Brennelemente könnte das rasche Ansteigen der Materialtemperatur nicht verhindern, da die durch den Zerfall der bereits vorhandenen Spaltprodukte erzeugte Nachzerfallswärme ausreicht, um den Reaktor hoch aufzuheizen. Innerhalb weniger Minuten schmilzte das Brennstabhüllenmaterial; die im Reaktorinneren herrschenden Temperaturen würden chemische Reaktionen des Metalls mit Wasser bzw. Wasserdampf ermöglichen, die eine Zerlegung des Wassers in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zur Folge hätte. Das dann vorliegende Gasgemisch (Knallgas) ist leicht entzündbar und kann bei genügend hoher Konzentration zu heftigen Explosionen führen. Der BMFT unterstreicht, daß „die hierdurch verursachten Belastungen und mögliche Beschädigungen des Containments nicht mehr überschaubar sind...“ (BMFT 1978, S. 325).

Falls das Reaktordruckgefäß und die Betonabschirmungen den Explosionen standhielten, würde innerhalb einer halben bis einer Stunde die Metallschmelze die Sicherheitsabschirmungen zerstört haben; der geschmolzene Reaktorkern sänke unter ständiger Freisetzung leichtflüchtiger Spaltprodukte und radioaktiver Staubteile mit einer Geschwindigkeit von ca. 2–4 m/h in den Erdboden und bliebe monatelang menschlichen Zugriffen zur Regulierung der Katastrophe entzogen (vgl. Strohm 1977, S. 155).

Um diesen Prozeß zu verhindern, muß bei einem Ausfall der Kühlung sofort ein Notkühlsystem eingeschaltet werden. Dieses beruht in den Leichtwasserreaktoren auf ringförmig um das Reaktordruckgefäß angelegte Kondensationskammern, in die der durch die übermäßige Hitze entstehende Wasserdampf über Kondensationsrohre aus dem Druckgefäß abgeleitet wird; dort kühlt der Wasserdampf ab und verflüssigt sich wieder. Da somit ein Anstieg des Drucks im Reaktordruckgefäß verhindert wird, ist es möglich, über ein automatisch einsetzendes Sprühsystem die Brennelemente mit Wasser zu bespritzen. Gleichzeitig erfolgt über verschiedene Rohrleitungen eine direkte Flutung des Reaktorcores (Kernflutsystem) (vgl. Altvater 1975; BMFT 1978, S. 113 ff.).

Um die Verfügbarkeit des Notkühlsystems zu gewährleisten, sind die technischen Grundbausteine wie Ventile, Notstromeinrichtungen, Regulatoren usw. mehrfach ausgelegt (Redundanzprinzip). Der damit verbundenen Gefahr, daß technologisch gleichartige Elemente zur gleichen Zeit ausfallen können, wird durch unterschiedlichen Aufbau von Anlagen, die gleiche Sicherheitsfunktionen erfüllen, vorgebeugt (Prinzip der Diversation).

Da die Funktionalität eines Notkühlsystems eine entscheidende Voraussetzung für die Sicherheit des Reaktors darstellt, sind technisch begründete Zweifel an der Wirksamkeit der Notkühlung ernst zu nehmen.

H. Strohm berichtet über eine 1967/68 im Auftrag der Atom Energie Kommission der USA durchgeführten Studie von Lawson über den Wert von Simulationsversuchen mit Notkühlssystemen zur Klärung von Sicherheitsfragen. Dabei kommt

Lawson zu dem Ergebnis, daß mangelhaft reproduzierte Rahmenbedingungen dieser Tests ihren Aussagewert ebenso abschwächen, wie die geringen Erfahrungen mit dem Verhalten von Brennstabhüllenmaterial unter extremen Belastungen (vgl. Strohm 1977, S. 169–177).

Motiviert durch die öffentlich bekundeten Zweifel an der Effektivität von Notkühlsystemen vergab die Atom Energie Kommission an die Idaho Nuclear Corporation Testaufträge für die Überprüfung der Funktionalität von Notkühlsystemen. Die fünf Monate dauernde Versuchsreihe führte zu einem wenig zufriedenstellenden Ergebnis: In allen Testversuchen versagten die Notkühlsysteme, weil das Wasser, welches zur Kühlung in das Reaktordruckgefäß hineingepumpt wurde, durch den am erhitzten Core auftretenden Wasserdampf von den Brennstabhüllen ferngehalten wurde und so nach nur unwesentlicher Kühlung an der gleichen Leckage ausfloß, wie zuvor das Primärkühlmittel. Der damalige Vorsitzende der Kommission mußte eingestehen: „Der Gebrauch neu entwickelter Techniken zur Berechnung der Temperatur der Zirkaloyverkleidung bei einem Kühlwasserverlust und die Resultate der kürzlichen Forschungen haben gezeigt, daß die Funktionsfähigkeit des Notkühlsystems nicht so ist, wie man es vorher angenommen hatte“ (Forbes 1971, S. 22).

Es ist hier weder möglich noch sinnvoll, sämtliche vorgebrachten Zweifel an der Funktionalität von Notkühlsystemen aufzulisten, denn bereits die bisherigen Ausführungen rechtfertigen es m. E., hinter einseitig optimistischen Aussagen über die Sicherheit von Kernkraftwerken beruhigenden Zweckoptimismus zu vermuten. Ein Vorfall im KKW Würgassen mag als ein Beispiel für die sicherheitstechnisch nicht zu garantierende Vermeidung von Kombinationen menschlichen Versagens, Zufallereignissen und technischen Funktionsstörungen dienen: Am 22. 8. 72 sollten in diesem Kernkraftwerk die Notstromaggregate für die Notkühlpumpen wegen Reparaturarbeiten die Stromversorgung des Kraftwerks übernehmen – alle vier Notstromdiesel fielen zur gleichen Zeit aus. Die Ursache war eine fehlerhafte Auslegung von Stromschaltungen, wodurch Fehlmeldungen innerhalb der Anfahrautomatik für die Notstromdiesel auftraten. Erst nach diesem Störfall wurden im Kernkraftwerk manuelle Eingriffsmöglichkeiten in den Schaltvorgang eingebaut; was wäre geschehen, wenn das Notkühlsystem zur Bewältigung eines technischen Störfalles vorher einmal gebraucht worden wäre? (vgl. BMFT 1978, S. 345). Eine Ahnung von den verheerenden Folgen einer nicht ausreichenden bzw. nicht rechtzeitig einsetzenden Notkühlung vermittelt der Unfall im Reaktor Three Mile Island bei Harrisburg im US-Staat Pennsylvania Ende März 1979. Gleichzeitig verdeutlicht der Störfallverlauf, wie eine Kombination von mehreren – als Einzelfall relativ geringfügigen Ereignissen – zu einer massiven Umweltgefährdung heranwachsen kann:

Am 28. 3. 1979 blockierte gegen 4.00 Uhr morgens ein Kühlventil im Sekundärkühlkreislauf; Turbine und Reaktor schalteten sich nach etwa 12 Sekunden automatisch ab. Es spricht zwar nicht für die Zuverlässigkeit der Herstellerfirma Babcock und Wilcox, daß dieser Vorfall nach Recherchen der von Präsident Carter eingesetzten Untersuchungskommission schon mehrfach bei anderen von ihr gebauten Reakto-



ren aufgetreten war, doch als einzelner Störfall konnte diese Panne in den anderen Kraftwerken leicht behoben werden (vgl. Die ZEIT v. 9. 11. 79, S. 13).

Nicht so in Harrisburg.

Obwohl der Reaktor sich unmittelbar nach der Ventilblockade abschaltete, fand weiterhin Wärmeproduktion statt, die in erster Linie auf den Zerfall der radioaktiven Spaltprodukte zurückzuführen ist.

Die damit verbundene Aufheizung des Primärkühlmittels um etwa 20°C führte zu einem Druckanstieg im Primärkühlkreislauf. Auslegungsgemäß öffnete sich daher ein Entlastungsventil des Primärkühlkreislaufes, aus dem Kühlmittel in einen dafür vorgesehenen Auffangtank abfloß; nach etwa 12 Sekunden fiel der Druck auf seinen Normalwert ab.

Doch anstatt wie vorgesehen wieder zu schließen, blieb das Entlastungsventil in seiner Offenstellung hängen, so daß weiterhin Kühlmittel aus dem Primärkühlkreislauf herausströmte.

Etwa 30 Sekunden nach der Kühlmittelblockade im Sekundärsystem sprach die automatische Einschaltung einer Hilfskühlung für das Sekundärsystem auslegungsgerecht an. Allerdings hatten Arbeiter bei Wartungsarbeiten 14 Tage vorher vergessen, die Ventile der Hilfskühlleitungen nach Abschluß ihrer Arbeit wieder zu öffnen. Zwar zeigte die Automatik die Fehlstellung der Ventile an, doch wurde die Warnung während der dazwischenliegenden zwei Wochen vom Betriebspersonal übersehen – angeblich weil ein Notizzettel die Kontrollanzeige verdeckte!

Infolge des anhaltenden Kühlmittelverlustes im Primärkühlsystem setzte eine Notkühlvorrichtung zwei Minuten nach Störfallbeginn ein; sie wurde jedoch zwei Minuten später vom Betriebspersonal wieder abgeschaltet, weil eine falsche Anzeige des Kühlmittelstandes im Primärkühlsystem eine ausreichende Kühlung vortäuschte, und das Personal noch immer nicht die Fehlstellung des Druckentlastungsventils bemerkt hatte. Vom Kenntnisstand des Betriebspersonals her gesehen war diese Maßnahme durchaus schlüssig, denn sie sollte einen zu erwartenden Überdruck im Primärkühlkreislauf verhindern; tatsächlich fand jedoch weiterhin ein Kühlmittelverlust statt. Um 4.15 Uhr platzte die Berstscheibe des Auffangtanks für das herausströmende Kühlmittel, radioaktives Wasser lief in den Sicherheitsbehälter des Reaktors.

Als zwischen 5.15 Uhr und 5.40 Uhr die Pumpen des Primärkühlkreislaufs unregelmäßig arbeiteten und ihr Durchsatz ständig abnahm, schaltete der Operator zur Abwendung der drohenden Gefahr schwerer Pumpenleckagen die Pumpen des Primärkühlkreislaufs ab.

Von diesem Zeitpunkt an war der Reaktorkern nicht mehr ausreichend gekühlt, die Temperatur im Primärkühlsystem stieg über den Meßbereich von 327°C hinaus.

Erst 2 Stunden und 6 Minuten nach Störfalleintritt bemerkte die Betriebsmannschaft das fehlerhafte Ablassen von Primärkühlmittel aus dem Entlastungsventil und sperrte den Ausgang durch Schließen eines in Reihe geschalteten Zusatzventils.

Die einige Zeit später wieder einsetzenden Kühlsysteme führten allerdings nicht zum gewünschten Erfolg.

Bedingt durch den bisher stattgefundenen Kühlwasserverlust und der unterbroche-

nen Einspeisung von Ersatzkühlmittel lag für einige Zeit der obere Teil der Brennelemente frei – die hohe Nachzerfallswärme konnte nicht abgeleitet werden und führte zum Schmelzen der Metallhüllen. Zudem setzte infolge der großen Hitze die oben beschriebene Metall-Wasser-Reaktion ein, bei der sich Metalloxid und Wasserstoff bildet.

Somit sonderte sich im Inneren der Druckgefäße eine schätzungsweise 34 m<sup>3</sup> große Wasserstoffblase ab, von der einige Tage höchste Gefahr ausging:

Einerseits drohte die Blase zu explodieren, was zur Beschädigung der Schutzmäntel des Reaktors und somit zur katastrophalen Freisetzung radioaktiver Stoffe geführt hätte – am 2.4. wurde in der Reaktorkuppel eine radioaktive Dosisleistung von 30000 rem/h gemessen, das 60fache einer tödlichen Strahlendosis.

Andrerseits behinderte der Wasserstoff eine hinreichende Kühlung der Brennelemente, da das nunmehr wieder zirkulierende Kühlmittel aufgrund des Gasdruckes nicht alle Teile der Brennelemente erreichen konnte. Zum Risiko der Gasexplosion stellte sich daher die Gefahr einer Kernverschmelzung ein, die zu einer totalen Überhitzung des Reaktorinneren und somit zum – nach Auffassung von Kernenergiebefürwortern praktisch nicht möglichen – Super-Gau geführt hätte.

Erst nach sechs Tagen gelang es, durch Zusätze im Wasser die Gasblase zu lösen; der Reaktor konnte nun im notwendigen Umfang gekühlt werden. Noch Monate nach dem Unglück war eine genaue Rekonstruktion weder der Entstehung noch des Verschwindens der Gasblase möglich. Der Direktor der amerikanischen Atomüberwachungsbehörde, Harold Denton, fand dann auch nur die wenig beruhigenden Worte zur Bewältigung des Störfalls: „Es war ein bißchen Planung und ein bißchen Glück“ (zitiert nach: Der SPIEGEL 15/79, S. 27). Auf dem Höhepunkt der Krise veranlaßte der Gouverneur von Pennsylvania Evakuierungsmaßnahmen für rund 600000 Menschen (vgl. Die ZEIT v. 9.11.79, S. 13; Frankfurter Rundschau v. 2.4.79, S. 1f., v. 3.4.79, S. 1f., v. 5.4.79, S. 2; Der SPIEGEL 15/79, S. 19ff.; Gesellschaft für Reaktorsicherheit 1979; Bundesminister des Innern 1979b).

Ebenso wie bei Notkühlssystemen erschwert mangelnde praktische Erfahrung mit dem Verhalten des Materials anderer Betriebssysteme bei zeitlich ausgedehnter Belastung beruhigende Aussagen über die Betriebssicherheit von Kernkraftwerken. So mußte 1972 in einem Bericht über die Bau- und Betriebserfahrungen mit Leichtwasserreaktoren in der Bundesrepublik über die Funktionsfähigkeit der Brennstabhüllen bei der Zurückhaltung der Spaltprodukte festgestellt werden: „Weniger zufriedenstellend war das mechanische Verhalten der Brennelemente. Hüllenschäden bewirken einen Anstieg der Radioaktivität im Kühlmittel durch freigesetzte Spaltprodukte“ (Weckesser u. a. 1972, S. 408).

Auch über die langfristige Sicherheitswirksamkeit des Reaktordruckgefäßes liegen Zweifel vor. Seine Aufgaben, Zurückhaltung der aus den Brennelementen entwichenen Spaltprodukte, partielle Abschirmung der Neutronenstrahlung im Reaktor, Einschluß des heißen Kühlmittels machen ihn zu einem integralen Bestandteil der Betriebssicherheit von Reaktoren; allerdings ist das Baumaterial des Druckbehälters großen physikalischen Belastungen ausgesetzt.

Daher wird der Reaktordruckbehälter mit Hilfe von Ultraschallmessungen zur

Erfassung von Materialsprödigkeiten und Unterwasserkameras im Inneren des Behälters zur Beobachtung der Schweißnähte einer ständigen Werkstoffüberprüfung unterzogen.

Während die Betreiber von Kernkraftwerken die Verlässlichkeit dieser Kontrollverfahren betonen (vgl. Hamburgische Electricitätswerke/Nordwestdeutsche Kraftwerke 1976, S. 27 f.), äußert der für die Kontrolle zuständige TÜV-Beauftragte in einem Gutachten über das KKW Essensham: „... daß bei vorliegenden Bedingungen (dickwandige Elemente, schwere Zugänglichkeit bei Wiederholungsprüfungen usw.) die Prüfverfahren zum Teil nicht erprobt sind und der Nachweis der Durchführbarkeit und ausreichender Zuverlässigkeit noch erbracht werden muß ... In der Praxis kann nicht damit gerechnet werden, daß ein fehlerfreier Werkstoff vorliegt“ (Alex u. a. 1971, S. 3).

Fehlerquellen für die Stabilität des Werkstoffs setzen bereits bei seiner Herstellung ein. In dem bereits zitierten Bericht über die Bau- und Betriebserfahrungen mit den Kernkraftwerken Obrigheim, Grundremmingen und Lingen erwähnen die Berichtsersteller die mangelhafte Ausführung von Schweißarbeiten als Hauptursache für die festgestellten Materialschäden (vgl. Weckesser u. a. 1972, S. 480). In der Praxis unerforscht ist bisher die jahrzehntelang notwendige Beständigkeit des Stahls gegenüber dem durch Neutronenbeschuß, Temperaturwechsel und radioaktiver Strahlung erzeugtem Materialstreß. Befürchtungen über das mögliche Auftreten feinsten Haarrisse im Reaktordruckgefäß, die aufgrund der oben beschriebenen Kontrollschwierigkeiten folgenschwere Auswirkungen haben können, lassen sich mit den im Verhältnis zur langen Betriebsdauer eines Reaktors bisher geringen Erfahrungen nur schwer ausräumen. Zwar versuchen Betreiber von Kernkraftwerken zu beruhigen: „Bei dem bisherigen Betrieb von Kernkraftwerken haben sich weltweit noch keine derartigen Beschädigungen am Reaktordruckgefäß gezeigt“ (Hamburgische Electricitätswerke/Nordwestdeutsche Kraftwerke 1976, S. 27), doch mögen Zweifel an der Glaubwürdigkeit solcher Aussagen berechtigt sein, wenn man bedenkt, daß die Experten von der HEW und der NWK bereits vier Jahre zuvor in ihrer eigenen Fachzeitschrift hätten nachlesen können: „Nicht unerwähnt soll ein Schaden bleiben, der sich vor mehreren Wochen am Druckgefäß in Kahl eingestellt hat. Nach einer 11jährigen Betriebszeit ist eine Undichtigkeit an einem Steuerantriebsrohr, das in den Reaktorboden eingeschweißt ist, eingetreten. Ursache ist ein 60 mm langer Riß an einer Schweißnaht, der auf eine mangelnde Wurzeldurchschweißung zurückzuführen ist“ (Weckesser u. a. 1972, S. 481). Letztlich sind auch rein mechanische Ursachen als mögliche Schadensquellen innerhalb des Reaktordruckgefäßes nicht auszuschließen. Am 28.5.76 fand man während einer Inspektion im Reaktordruckgefäß des KKW Biblis Block A Schraubenteile aus der Befestigung der Einströmdüsen der Hauptkühlmittelpumpen. Die Schraubenverbindungen lösten sich infolge der hohen Materialbeanspruchung durch Temperaturschwankungen (vgl. BMFT 1978, S. 354).

Neben materialbedingten technologischen Risiken stellen Störfallereignisse wie Sabotageakte, Zerstörungen von KKWen im Kriegsfall, Naturkatastrophen und menschliches Versagen Gefährdungspotentiale dar, deren mögliches Eintreten zwar

schwerwiegende Folgen haben könnte, aber nicht kontrollierbar ist oder mit Wahrscheinlichkeitsgarantien eingeschätzt werden kann.

So wurde im US-Reaktor Brown Ferry durch unvorsichtiges Hantieren mit einer brennenden Kerze ein Kabelbrand ausgelöst, der zum Ausfall des größten Teils der Steuerungs-, Kontroll- und Sicherheitsgarantien führte – eine wahrscheinlichkeitstheoretisch nicht faßbare Fehlleistung des technisch hochqualifizierten Personals.

### **8.3 Von der Sicherheitsgarantie zur Risikophilosophie**

Die Betreiber von Kernkraftwerken runden sicherheitstechnische Ausführungen gerne mit Hypothesen über Eintrittswahrscheinlichkeiten von Unfällen ab und stellen Vergleiche zwischen anderen kulturell bedingten Risikofaktoren mit dem Risiko Kerntechnologie an (vgl. Gerwin 1977, S. 86; Hamburgische Electricitätswerke/Nordwestdeutsche Kraftwerke 1976, S. 29; Projektgesellschaft Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoff 1976, S. 21).

Sieht man einmal darüber hinweg, daß dabei häufig für die Selbstbestimmungsmöglichkeit eines einzelnen Individuums völlig unvergleichbare Größen in Beziehung gesetzt werden – etwa die Häufigkeit eines Unfalls im Flugverkehr mit der Häufigkeit eines Unfalls im Kernkraftwerk – vermögen die aufgeführten Wahrscheinlichkeitsrechnungen über das Auftreten schwerer Unfälle bei genauerer Betrachtung auch nicht zu beruhigen.

In der wohl bekanntesten und umfassendsten Rasmussen-Studie zur Reaktorsicherheit, an deren Erstellung 60 Wissenschaftler zwei Jahre lang mit einem Aufwand von 4 Mio Dollar arbeiteten, und mit der versucht wurde, sämtliche risikobesetzten Komponenten der Reaktorsicherheit qualitativ und quantitativ so in Beziehung zu setzen, daß eine Gesamtrisikoeinschätzung möglich wurde, wurde das Risiko einer Coreverschmelzung mit 1 mal in 17000 Betriebsjahren errechnet. Beim voraussichtlichen Betrieb von weltweit 500 KKWn in den 80er Jahren bedeutet dies, daß mit einer Coreverschmelzung einmal in 34 Jahren irgendwo auf der Welt zu rechnen sei (vgl. Die ZEIT-Sonderdruck 1977, S. 23). Allerdings sollen die nach dem Rasmussen-Report berechneten Auswirkungen eines solchen Unfalls geringer sein, als bisher angenommen wurde. Ein Unfall mit mehreren tausend Toten und zehntausenden Schwerverletzter hat nach der Studie eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 mal pro 1 Milliarde Reaktorbetriebsjahren.

Diese Zahl wird häufig zitiert, um die Ungefährlichkeit von KKWn zu unterstreichen. Allerdings wird dabei verschwiegen, daß in der Rasmussen-Studie die Möglichkeit terroristischer Sabotage ebenso ausgeklammert wurde, wie die Auswirkungen schwerer Erdbeben. Zudem ist es unredlich, die für amerikanische Verhältnisse erstellte Studie zur Beruhigung der Bevölkerung in der Bundesrepublik anzuführen, da für die Berechnung der gesundheitsschädlichen Auswirkungen eines Reaktorunfalls andere Zahlen über die Bevölkerungsdichte in der Nähe von Kernkraftwerken für die Bundesrepublik gelten als für die USA. Während in den USA im Durchschnitt 119 Einwohner/km<sup>2</sup> in einer Entfernung von 80 km um das

KKW wohnen, beträgt die vergleichbare Durchschnittseinwohnerzahl für die BRD 302 Einwohner/km<sup>2</sup> (vgl. Institut für Reaktorsicherheit des Technischen Überwachungsvereins 1975, S. 20).

Der praktische Wert von Risikoanalysen wird auch von der Bundesregierung relativiert: „Dennoch ist es nicht ausgeschlossen, daß Schadensereignisse eintreten, die bei der Auslegung nicht genügend berücksichtigt wurden und die somit u. U. nicht abgedeckt sind“ (BMFT 1978, S. 282).

Bestes Beispiel für eine durch Fehleinschätzung eines technischen Krisenverlaufs bedingte Risikounterschätzung bietet die soeben zitierte Veröffentlichung selbst. Über die Gefahr einer Wasserstoffproduktion bei einer Reaktorüberhitzung ist dort zu lesen: „Die Analysen ergeben, daß frühestens Tage nach einem Kühlmittelverlust im Sicherheitsbehälter kritische H<sub>2</sub>-Konzentrationen erreicht werden“ (ebd., S. 325). In Harrisburg verhinderte eine Wasserstoffblase wenige Stunden nach Kühlmittelverlust die weitere Kühlung des Reaktorkerns! Immerhin mußte das Bundeskabinett nach seiner ersten Sitzung nach dem Harrisburg-Vorfall bekanntgeben lassen, der Unfall „hat in die Nähe von bisher nicht zutage getretenen Risiken geführt“ (Regierungssprecher Grünwald zitiert nach Frankfurter Rundschau v. 5. 4. 79, S. 1). Rasmussen selbst meinte in einer Fernsehdiskussion wenige Tage nach dem Störfall, Korrekturen an seiner Risikostudie seien nach dem Harrisburg-Unfall angebracht (vgl. Himmel; Hoffmeister 1979).

Vergleicht man die wahrscheinlichkeitstheoretischen Ergebnisse von Rasmussen mit tatsächlich eingetretenen „Unwahrscheinlichkeiten“, kommt weiterer Zweifel an der Berechtigung auf, technisch begründete Einwände über die Verlässlichkeit von KKWn, rechnerisch zu beseitigen. Über den Brown-Ferry-Vorfall schreibt der ehemalige Vorsitzende der Arbeitsgruppe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz des Deutschen Bundestages, Frank Haenschke: „Wahrscheinlichkeitsberechnungen nach den Methoden von Rasmussen hätten für einen solchen Störfall ein Risiko von 1 mal in 10 Mio bis 1 Milliarde Reaktorbetriebsjahren errechnen lassen. Wegen dieses gering scheinenden Risikos hatte man möglicherweise auch auf eine Merkfachauslegung des lebenswichtigen Kabelsystems verzichtet“ (Haenschke 1977, S. 73).

An dieser Stelle wird die Verzahnung sicherheitstechnischer Maßnahmen zur Verminderung des Betriebsrisikos eines KKWs mit dem wirtschaftlichen Interesse billiger Energieproduktion deutlich. Sicherheitsforschungen erhöhen die Anlage- und Betriebskosten eines KKWs und gehen vermittelt über betriebswirtschaftliches Rentabilitätsstreben der Kernkraftwerksbetreiber in die Endpreise des erzeugten elektrischen Stroms ein. Dabei verhindert ein im Verhältnis zu den Kosten zu geringes Finanzvolumen der Betreiberfirmen eine optimale Sicherheitsforschung. So beklagt Milton Shaw als Direktor der Abteilung Reaktorentwicklung und -technologie der Amerikanischen Atom Energie Kommission die finanziell eingeschränkten Möglichkeiten zur Durchführung von qualifizierten Tests über die Verlässlichkeit von Notkühlsystemen und stellt fest, daß „nur GE (General Electric, JK) die kommerzielle Ausrüstung hat, um die Tests durchzuführen“ (Shaw 1971, S. 2).

Einen Einblick in die Sicherheitsmentalität der Kernkraftwerksbetreiber bietet ein leitender Angestellter des KKW Grundremmingen: Die Feststellung feiner Risse im Kühleistungssystem kommentiert er: „Die Industrie ist hoffnungsvoll, diese Schäden, deren Reparatur wegen der damit verbundenen Strahlenbelastung für das Personal sehr unangenehm ist, in zukünftigen Anlagen vermeiden zu können“ (Ettemeyer 1975, S. 38).

Wie der Zielkonflikt zwischen Sicherheit und betriebswirtschaftlichen Interessen selbst das Störfallmanagement zuungunsten der Sicherheit beeinflussen kann, zeigt ein Bericht von zwei Beamten des Bundesinnenministeriums über einen Störfall im KKW Brunsbüttel im Juni 1978.

Dort wurde nach Feststellung einer geringfügig erscheinenden Freisetzung von Dampf in den Maschinenraum des Reaktors die Anlage drei Stunden weitergefahren, obwohl eine mit der Betriebsgenehmigung verbundene Auflage die Betriebsmannschaft verpflichtet, in diesem Fall die Anlage so schnell wie möglich abzuschalten. Aus sicherheitstechnischer Perspektive besonders unverständlich ist, daß eine Schutzschaltung, die den Reaktor beim Austreten von Dampf automatisch abschalten soll, durch Eingriff in die elektrischen Auslegungen der Anlage überbrückt worden ist. Dieses Überbrücken des automatischen Schutzsystems ist nach dem Betriebshandbuch ausdrücklich verboten! In ihrem Bericht bescheinigen die Beamten des Innenministeriums sowohl der Betriebsmannschaft als auch der Betriebsleitung, „daß ihnen sowohl die Fachkunde als auch die erforderliche Zuverlässigkeit fehlt, um ein Kernkraftwerk dieser Größe in der vom Gesetz geforderten Art und Weise zu fahren“ (zitiert nach Frankfurter Rundschau vom 31.7.78, S. 14).

Deutlich wurde auch der Chefberater der von Präsident Carter eingesetzten Kommission zur Untersuchung des Harrisburg-Unfalls. Über die Gewährleistung ausreichender Sicherheitsmaßnahmen bei der wirtschaftlichen Nutzung der Kernenergie stellte Stanley Gorinson fest: „Die Regierung muß sich als verantwortliche und wirkungsvolle Kontrollinstanz betrachten. Die Industrie kommt als wesentlichster Sicherheitsgarant nicht in Betracht.“ (zitiert nach Frankfurter Rundschau vom 18.1.1980, S. 1).

Wie zu zeigen sein wird, geht die Verzahnung wirtschaftlicher und sicherheitstechnischer Probleme nicht nur in die Kosten-Nutzen-Rechnung der jeweiligen KKW-Betreiber ein, sondern beinhaltet ein grundsätzlich politisches Problem für die genehmigende Instanz für KKWe, d.h. der Bundesregierung, die einerseits den langfristigen Energiebedarf sichern muß, andererseits jedoch in der Politik an den Sicherheitsbedürfnissen der Bevölkerung nicht vorbeigehen darf. Immerhin erklärte der Bundesminister des Innern, daß die Regierung „dem Schutzauftrag den Vorrang vor den energiewirtschaftlichen Bedürfnissen einräumt“ (Bundesminister des Innern 1975, S. 3).

## 9 Kernenergiepolitik im Widerspruch zwischen Versorgung und Sicherheit

Der aus der offen bleibenden Risikofrage resultierende Zweifel eines Teils der Bevölkerung an der Vertretbarkeit kerntechnischer Energieversorgung und die im Rahmen unserer Wirtschaftsordnung als Sachzwänge erscheinenden energiepolitischen Versorgungsprobleme bilden die zwei Seiten eines Widerspruchs, mit dem die politisch verantwortlichen Energieplaner konfrontiert werden.

So verbieten die Auseinandersetzungen um die kerntechnischen Anlagen in Whyl, Gorleben, Brokdorf und anderswo, die größere Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber Umweltfragen und der wachsende politische Einfluß der in dem Bund Bürgerinitiativen Umweltschutz (BBU) zusammengeschlossenen Bürgerinitiativen einer sich demokratisch legitimierenden Regierung die autoritäre Realisierung von kerntechnischen Planungen. Bereits der Kommentar der BBU zu der sich Ende 1977 abzeichnenden Positionsänderung der großen Parteien von einer Befürwortung eines Moratoriums für die kerntechnische Entwicklung zur ausdrücklichen Festlegung auf die Kernenergie offenbart einen Einbruch des Vertrauens in die gesellschaftliche Legitimität staatlicher Entscheidungen: „Es ist ein unerträglicher Zustand, daß die Meinung von Millionen von Bürgern in bezug auf die Atomenergie in unseren Parteien nicht mehr repräsentiert ist. In diesem Bereich funktioniert unsere parlamentarische, repräsentative Demokratie nicht mehr“ (Bund Bürgerinitiative Umweltschutz 1977).

Nicht zuletzt aus Sorge um die ideologische Stabilität der westdeutschen Gesellschaft erläuterte der damalige Minister Matthöfer den Standpunkt der Bundesregierung folgendermaßen: „Die Bundesregierung nimmt Bedenken, Ängste und den Widerstand in der Bevölkerung gegen die Errichtung kerntechnischer Anlagen außerordentlich ernst. Sie hat nicht die Absicht, die Kernenergie unter allen Umständen und ohne Rücksicht auf die öffentlichen Diskussionen durchzusetzen“ (Matthöfer 1977, S. 9).

Diesen Ausführungen entgegen steht die Behauptung der volkswirtschaftlich lebenswichtigen Bedeutung der Kernenergie.

Während der Vorsitzende der Kerntechnischen Gesellschaft, Levi, seine Warnung vor einem befristeten Baustop von KKWn mit Sorge um die Energiebedarfsdeckung und die Exportfähigkeit der deutschen kerntechnischen Industrie begründet (vgl. Frankfurter Rundschau v. 21.9.77, S. 1), der ehemalige Wirtschaftsminister Fridrichs die durch einstweilige Gerichtsbeschlüsse gegen Kernkraftwerksbauten erzwungene Blockierung eines 10,4 Mrd DM Auftragsvolumens beklagt (vgl. Frankfurter Rundschau v. 16.7.77, S. 1), rechtfertigt die Preußenelektra AG geplante Strompreiserhöhungen mit den durch schleppende Genehmigungsverfahren verursachten Bauzeitverzögerungen für Kernkraftwerke (vgl. Frankfurter Rundschau v. 20.7.77, S. 1). H. Trenkler, vom Verein Deutscher Elektrizitätswerke, formuliert am Ende seiner Analyse der Zusatzkosten bei Kernkraftwerksbauten, nach der unter ungünstigen Umständen Bauzeitverlängerungen jährliche Mehrkosten von 900 Mio DM verursachen würden, die Forderung, „sinnwidrige Verzöge-

rungen einmal beschlossener Kernkraftwerksbauten zu vermeiden“ (Trenkler 1976, S. 250).

Der Konflikt zwischen sicherheitspolitischen und ökonomischen Interessen führt zu ständigen Schwankungen in der Kernkraftwerkspolitik:

Während die Bundesregierung 1975 betonte, „daß die Technologie der friedlichen Kernenergienutzung ... sicher beherrschbar ist“ und vor einem Moratorium für Kernkraftwerke mit versorgungspolitischen Argumenten warnte (vgl. Bundesminister des Innern 1975, S. 3), meinte Matthöfer im August 1977, ein Baustopp für KKWe von drei bis fünf Jahren sei so gut wie sicher und betonte nunmehr, er glaube nicht an die Gefahr, „daß 1985 die Lichter ausgehen“, weil die Energieversorgung und das Wirtschaftssystem „so flexibel“ seien, den Baustopp zu verkraften (vgl. Frankfurter Rundschau v. 4.8.77, S. 1). Bereits im Dezember 1977 verkündete jedoch der Bundeswirtschaftsminister Lambsdorff, das Bundeskabinett halte den Bau weiterer KKWe „mittel- und langfristig zur Deckung des Kapazitätsbedarfs für unerlässlich ...“ (zitiert nach Frankfurter Rundschau v. 15.12.77, S. 1).

Immerhin erklärte jedoch die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke eine Woche nach dem Harrisburg-Vorfall im April 1979, daß selbst dann eine beachtliche Überkapazität an Strom bereitstünde, wenn an einem kalten Wintertage sämtliche Kernkraftwerke abgestellt werden würden (vgl. Frankfurter Rundschau v. 6.4.79, S. 1).

Schließlich begründete der nordrhein-westfälische Wirtschaftsminister Jochimsen im Herbst 1980 die zögernde Haltung der Landesregierung zum weiteren Ausbau der Kernenergie u.a. mit der Feststellung, daß das damalige Wirtschaftswachstum von über drei Prozent von einem leichten Rückgang des Stromverbrauchs begleitet wurde (vgl. Frankfurter Rundschau v. 21.10.80, S. 1f.).

Die unterschiedlichen Einschätzungen der mittel- und langfristigen Energiebedarfdeckung in der Beurteilung der wirtschaftlichen Notwendigkeit von Kernkraftwerken bilden einen Ansatzpunkt, um den gesamten wirtschaftspolitischen Begründungszusammenhang für die Nukleartechnologie in Frage zu stellen. So nimmt es nicht Wunder, daß Matthöfer sich bereits 1977 darüber beschwerte, man habe durch mangelnde Prognosen „bei den Bürgerinitiativen an Glaubwürdigkeit verloren“ (zitiert nach Frankfurter Rundschau v. 11.11.77, S. 2).

Zudem führen Kritiker der Kernenergie an, die Prognosen schrieben durch Extrapolation des Energiebedarfs von heute bzw. der jüngsten Vergangenheit die durch den sorglosen Umgang mit Energie verursachte Energieverschwendung fest. Während auf der einen Seite die Versorgungsfähigkeit der Wirtschaft mit Energie ohne den Bau von Kernkraftwerken bezweifelt wird, werben die Elektrizitätsgesellschaften beim Kleinverbraucher für die Anschaffung von energieintensiven elektrischen Küchengeräten, Nachtstromheizungen und Warmwasseraufbereitungsanlagen. Besonders die mit hohem Stromverbrauch arbeitenden Geräte tragen viel zur Energieverschwendung bei, denn aufgrund des Energieverlustes bei der Herstellung von elektrischem Strom in Wärmekraftwerken und bei der Rückverwandlung des Stroms in Wärme kann lediglich nur ein Viertel der ursprünglich produzierten Wärmeenergie genutzt werden.



Eine besonders kuriose Art von Energievergeudung beschreibt A. Casenale von der Harvard University in Cambridge: Da bis zu Beginn der siebziger Jahre Energie billig war, blieben in den USA die meisten Bürohäuser nachts hell erleuchtet – das Ersetzen der Glühlampen, die durch An- und Ausschalten rascher verschleißten, war teurer als der nächtliche Stromverbrauch (vgl. Die ZEIT-Sonderdruck 1977, S. 16). Zweifel an der immer wieder behaupteten Unabdingbarkeit des gesellschaftlich entstandenen Verhältnisses zwischen Lebensstandard und Energieverbrauch begründet eine Studie der University of California, aus der hervorgeht, daß in Schweden der Energieverbrauch pro Kopf der Bevölkerung weniger als zwei Drittel des amerikanischen pro Kopf Verbrauchs beträgt, weil weniger Benzin verschwendet und Heizwärme effektiver genutzt wird. Der Lebensstandard ist allerdings in beiden Ländern vergleichbar (vgl. Der SPIEGEL 1/2/1977, S. 36).

Eine unter der Leitung von Erhard Eppler erstellte Energiestudie für den Zeitraum bis zum Jahre 2000 weist auf die Möglichkeit hin, durch geeignete Wärmedämmung und elektronische Heizungsreglung in Gebäuden etwa  $\frac{3}{4}$  der erdölintensiven Raumheizungsenergie einzusparen (vgl. Frankfurter Rundschau v. 27. 6. 79, S. 14). Aus den vom Bundeswirtschaftsminister verbreiteten Daten zur Entwicklung der Energiewirtschaft in der BRD 1978 läßt sich berechnen, daß der Heizölabsatz im Sektor Hausbrand/Kleinverbrauch 28,6% des gesamten Inlandabsatzes im Mineralölbereich erreicht (vgl. Bundesminister für Wirtschaft 1979, S. 25–33). Mit der optimierten Nutzung von Raumheizungsenergie nach den Epplerschen Vorschlägen ließe sich demnach der Mineralölverbrauch in der BRD um 20% reduzieren. Da das Mineralöl 1972 zu 52,2% den Energieverbrauch der Bundesrepublik deckte, ergäben allein diese Einsparungen eine Senkung des Energieverbrauchs um über 10%. Dieses ist mehr als das Dreifache des von sämtlichen Kernkraftwerken in der Bundesrepublik 1978 erreichten Anteils an der bundesrepublikanischen Energieversorgung! Energiesparmaßnahmen durch eine effektivere Nutzung der eingesetzten Energie sind im Hinblick auf Einsparungsversuche beim Mineralölverbrauch offenbar wirksamer, als die Substitution des Mineralöls durch Kernenergie.

Zudem scheint langfristig der Ersatz von Mineralöl durch Kernenergie ohnehin nicht im nennenswerten Ausmaß durchführbar zu sein. Kernkraftwerke liefern Energie lediglich in Form von elektrischem Strom, doch war bereits 1978 der Anteil der Kernenergie an der Stromerzeugung höher als der auf Verbrennung von Mineralöl basierende Anteil von Verbrennungskraftwerken, ohne daß dieses bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch der Bundesrepublik eine deutliche Entlastung des Energieträgers Mineralöl bewirkt hätte.

Kernkraftwerke könnten zwar insgesamt zu einem höheren Anteil des elektrischen Stroms an den Verbrauchsenergieformen beitragen, doch ist zu bezweifeln, ob ein relatives Anwachsen des Stromverbrauchs unter energiewirtschaftlichen Aspekten wünschenswert und nach Prognosen über wirtschaftsstrukturelle Entwicklungen zu erwarten ist: Betont wurde bereits, daß ein Ersatz fossiler Brennstoffe für die Wärmeproduktion durch den elektrischen Strom energiewirtschaftlich unrentabel sei, weil nur ein Viertel der Ausgangsenergie letztlich als Nutzungswärme zur Verfügung stünde. Nach der Studie von Eppler ist ein Anwachsen des verarbeiten-

den Gewerbes und des Dienstleistungssektors gegenüber den stromintensiven Industriebereichen Grundstoffherstellung und Metallverarbeitung zu beobachten, so daß auch im gewerblichen Bereich ein hohes relatives Wachstum des Stromverbrauchs bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch nicht abzusehen ist (vgl. Frankfurter Rundschau v. 27.6.79, S. 14).

Neben der energiewirtschaftlichen Notwendigkeit, wird von Kernenergiebefürwortern der beschäftigungspolitische Effekt der Kernenergie hervorgehoben. Danach sichert der Ausbau der Kerntechnik nicht nur direkt Arbeitsplätze für die am Bau und Betrieb kerntechnischer Anlagen beteiligten Arbeitnehmer, sondern garantiert durch eine bedarfsdeckende Energiebereitstellung wirtschaftliches Wachstum und somit Vollbeschäftigung.

Nun ist jedoch Arbeitslosigkeit nicht nur auf Energiemangel zurückzuführen und sicher nicht allein durch Energiebereitstellung abzubauen – immerhin betrug im Januar 1981 die Arbeitslosenquote 5,6 % (vgl.: Frankfurter Rundschau v. 4.2.81, S. 1) trotz bedarfsdeckender Energiebereitstellung – sondern u. a. auch eine Auswirkung von profitorientiert eingesetzten Rationalisierungstechnologien, die überwiegend zu einer erhöhten Nachfrage nach elektrischer Energie führen. Doch auch der Behauptung einer direkten arbeitsmarktpolitischen Stabilisierung durch den Bau und Betrieb neuer Kernkraftwerke sind Argumente entgegenzusetzen:

Den 24 000 Arbeitsplätzen pro Jahr, die nach Berechnung des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung der Bau eines Kernkraftwerkes in der Kernindustrie und deren Zulieferanten aus der Maschinenbau-, Stahl- und Chemieindustrie sichert, wird von der BBU entgegengehalten, daß die technologisch und ökologisch wünschenswerte Innovation der z.T. mehr als 20 Jahre alten Kohlekraftwerke, wärmedämmende Maßnahmen an Gebäuden und die Entwicklung alternativer Technologien den Zuwachs der kerntechnisch bedingten Arbeitsplätze noch übertreffen würden. In diesem Zusammenhang ist als Anhaltspunkt eine Studie des Landesarbeitsamtes Nordbayern interessant, nach der allein durch Umrüstung der Privathaushalte auf die Nutzung solarer Energie für Hausheizung und Warmwasseraufbereitung 60 000 neue Arbeitsplätze geschaffen werden könnten (vgl. Bund Bürgerinitiative Umweltschutz 1977, S. 11).

Im übrigen kann eine auf die Kernindustrie ausgerichtete Teilproduktionsstruktur sogar zu einer Intensivierung von Arbeitsmarktkrisen beitragen.

Nach Aussagen des BMFT ist die erreichte Fertigungskapazität der bundesdeutschen Kernkraftwerkshersteller mit 6 Kraftwerken pro Jahr nur durch Exportgeschäfte auszulasten (vgl. BMFT 1978, S. 432). Die Sicherheit der in der Kernindustrie und den auf sie spezialisierten Zulieferfirmen vorhandenen Arbeitsplätze hängt demnach u. a. davon ab, ob es den Kernkraftwerksproduzenten gelingt, ihre Technologie im Ausland zu verkaufen. Sieht man einmal davon ab, daß dieser Exportzwang entwicklungspolitisch zweifelhafte Lieferungen von Kernkraftwerksanlagen in „Dritte Welt“ Länder zur Folge hat, so ist darauf hinzuweisen, daß selbst vertraglich gesicherte Geschäftsabschlüsse keine Verkaufs- und somit Arbeitsplatzgarantie bieten: Das unter dem Schah-Regime zwischen dem Iran und der Kraftwerksunion (Siemens und AEG-Telefunken) abgeschlossene Lieferabkom-

men für 4 Kernkraftwerke mit einem Geschäftsvolumen von 20 Mrd DM wurde nach der islamischen Revolution kurzerhand gekündigt.

Nach dem heutigen Entwicklungsstand der Kerntechnologie haben sich auch die Wirtschaftlichkeitserwartungen, mit denen ihre Entwicklung eingeleitet worden ist, nicht erfüllt. Fehlprognosen bei der Abschätzung des Kostenaufwands mögen dabei eine grundlegende Rolle gespielt haben. Nach D. Schmitt, vom Energiewirtschaftlichen Institut der Universität Köln, haben sich im Zeitraum 1973–1977 die Stromgestehungskosten eines KKWs aufgrund von 100% Verteuerungen im Kernkraftwerksbau, 500% Preissteigerungen beim Uran und erheblich gewachsener Anreicherungskosten nahezu verdreifacht (vgl. Die ZEIT-Sonderdruck 1977, S. 6).

Weitere, bisher kaum planbare gesellschaftliche Kosten der Kernenergie stellen Aufwendungen für die Entsorgung des atomaren Mülls und für die Entstrahlung bzw. Demontage stillgelegter kerntechnischer Anlagen dar. Nicht zuletzt die unübersehbare Kostenentwicklung für die Folgetechnologien veranlaßte den amerikanischen Ausschuß für Regierungsangelegenheiten des Repräsentantenhauses in einem 1978 veröffentlichten Bericht über die Kernenergie, vor einer weiteren Orientierung auf diese Form der Energiebereitstellung zu warnen. Während die Kosten für die Atommüllbeseitigung aus dem Schnellen Brüter von West Valley (New-York) auf 4,4 Mio Dollar geschätzt wurden, betragen die tatsächlichen Kosten 540 Mio Dollar (vgl. Frankfurter Rundschau v. 3.9.79, S. 3). Die Reinigungs- und Entsorgungsarbeiten am Reaktor in Harrisburg werden etwa 400 Mio Dollar erforderlich machen, die Hälfte der für die Errichtung der Anlage investierten Baukosten (vgl. Die Neue v. 7.9.79, S. 1).

In der Bundesrepublik steht dem aus öffentlichen Mitteln entstammenden Förderungsvolumen für die Kernenergie von bisher 17,5 Mrd. DM ein unverhältnismäßig geringer volkswirtschaftlicher Nutzen entgegen. Der Anteil, den die Kerntechnologie an der Primärenergiebedarfsdeckung 1978 erfüllte, ist mit 3% am Gesamtenergieverbrauch fast dreimal geringer, als aufgrund von Energiesparmaßnahmen zwischen 1973 und 1975 an Primärenergie eingespart werden konnte (8%) (vgl. Bundestagsdrucksache 1977, S. 6). Auch hier tragen Fehlprognosen in der Kostenabschätzung zu einer falschen Wirtschaftlichkeitsbewertung kerntechnischer Anlagen bei. Nach Matthöfer haben sich innerhalb von 9 Jahren die Schätzungen der Kosten für den Bau eines Hochtemperaturreaktors um 500 Mio DM erhöht; für den Schnellen Brüter sogar um 800 Mio DM. Ob angesichts dieser Fehlkalkulationen die Reaktoren jemals rentabel arbeiten werden, ist offen. Dennoch fordert Matthöfer einen Weiterbau: „... wenn man einmal drei Viertel der Kosten in einen Reaktor investiert hat, muß man weiter bauen, insbesondere angesichts des internationalen Wettbewerbs“ (zitiert nach: Die ZEIT-Sonderdruck 1977, S. 10). Der Preis für diese Logik ist freilich hoch. Wurden die Kosten für den Brüter 1977 noch auf 2,5 Mrd DM geschätzt, beklagte sich im April 1981 Bundesforschungsminister v. Bülow, daß er nunmehr rund 5 Mrd DM veranschlagen müßte. Auch die Fehlkalkulation für den Hochtemperaturreaktor ist beachtlich: sein voraussichtlicher Preis von 1,2 Mrd DM stieg auf 3 Mrd (vgl. Frankfurter Rundschau vom

30.4.81, S. 5). Im September 1981 wurde die Meinung verbreitet, daß der Schnelle Brüter – sollte er Mitte der 80er Jahre in Betrieb gehen – technisch veraltet sei (vgl. Frankfurter Rundschau vom 1.9.81, S. 4).

Diese Einschätzung Matthöffers verdeutlicht das technokratische Sachzwangdenken der energiepolitischen Planer. Obschon hier nicht Raum zur Diskussion der technologischen Realisierbarkeit alternativer Technologien zur Energiegewinnung ist, muß gegenüber der bisherigen Energiepolitik angemerkt werden, daß keineswegs ein technologisch-wirtschaftlicher Sachzwang die kerntechnologische Entwicklung begünstigte, sondern eine zu optimistische Bewertung der Kernenergie in früheren Jahren bremste die Entwicklung alternativer Energietechnologien: 1972 wurden für Forschungsmaßnahmen im Bereich der Kernenergie 78,9 mal höhere Staatsförderungen bezahlt als für andere Energieformen; 1973 betrug das Verhältnis der aus öffentlichen Mitteln bestrittenen Subventionen zwischen nuklearer und nicht-nuklearer Energie 46,2 : 1; ab 1980 werden die Ausgaben für die Kernenergie nur noch 250 % mehr betragen als für die anderen Energieformen (vgl. BMFT 1977, S. 174).

Vor dem Hintergrund dieser Zahlen erweist sich das von Kernenergiebefürwortern häufig angeführte technologische Defizit an alternativen Energieproduktionen als Produkt wirtschaftspolitischer Begünstigung der Kerntechnologie. Sehr deutlich kommt dieses in den Ausführungen von Dipl. Ing. Meliss von der Kernforschungsanstalt Jülich zum Ausdruck, in denen die Verfügbarkeit von Wind- und Sonnenenergie von den damit zusammenhängenden Investitionskosten abhängig gemacht wird (vgl. Meliss 1975, S. 73f.).

Der behauptete Sachzwangcharakter für den weiteren Ausbau der Kernenergie gewinnt seine Rationalität nur im Rahmen der bisherigen Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik und dem damit verbundenen Primat profitabler Investitionsverwertung vor den Sicherheitsinteressen der in dieser Gesellschaft lebenden und arbeitenden Menschen<sup>7</sup>. So meinte der Vorsitzende der Kerntechnischen Gesellschaft, Levi, auf der von seinem Verband und dem Deutschen Atomforum im März 1981 durchgeführten „Jahrestagung Kernenergie“, die behördlichen Sicherheitsauf-

---

<sup>7</sup> Vgl. dazu auch: Glaser 1980. In diesem Aufsatz wird versucht, den Zwang zur Konkurrenzfähigkeit der westdeutschen Wirtschaft auf dem Weltmarkt in die Analyse des Auf- und Ausbaus der Kernenergieindustrie in der BRD einzubeziehen. Zunächst versucht Glaser, nachzuzeichnen, wie das Zusammenspiel ökonomisch-technologischer Abhängigkeit der westdeutschen Atomforschung in den '50er Jahren vom Ausland, geschäftlicher Verbindungen von deutschen und amerikanischen Firmen, der globalen Orientierung der BRD an den USA sowie des Bestrebens nach einer möglichst raschen Verwertung der Investitionen in die Reaktorentwicklung in der BRD die Durchsetzung des in den USA bereits erprobten Leichtwasserreaktors begünstigte. Nach kommerzieller und technologischer Ausreifung der westdeutschen Kernenergieindustrie und der damit verbundenen Loslösung von den amerikanischen Firmen, tritt die westdeutsche Atomindustrie durch die, zur Auslastung ihrer Fertigungskapazitäten erzwungene, Exportorientierung in Weltmarktkonkurrenz zu amerikanischen und französischen Herstellern. Die technologische Fähigkeit zum Bau sämtlicher Anlagen des Brennstoffkreislaufs begründet einen Konkurrenzvorteil, da westdeutsche Anlagen – wie das Brasilien-Geschäft zeigte – besonders für jene kaufinteressierten Länder interessant sind, die mit eigenen Uranvorkommen und dem Erwerb eines schlüsselfertigen Brennstoffkreislaufs in der Lage sind, eine importunabhängige Atomenergiewirtschaft aufzubauen und zudem die technologischen

lagen würden manchmal die „Grenzen technischer Vernunft“ überschreiten; sein Mitstreiter Guik, Präsident des Deutschen Atomforums, verlangte dann auch folgerichtig eine Entschärfung des Genehmigungsverfahrens für neu geplante Kernkraftwerke (vgl. Frankfurter Rundschau vom 27.3.81, S. 1). Den Sorgen um die katastrophalen Auswirkungen eines nicht beherrschbaren Unfalls, den Ängsten vor den nicht hinreichend erforschten Folgewirkungen radiologischer Belastungen durch kerntechnische Anlagen sowie den Bedenken gegenüber der Realisierbarkeit eines über Jahrtausende währenden Abschlusses des hochradioaktiven Mülls von der belebten Natur stehen die Interessen der kerntechnischen Industrie gegenüber, die hohen Investitionen zu verwerten. Letzteres bildet den materiellen Kern der Risikophilosophie der Kernenergiebefürworter. Scheinbar sachzwanghaften Argumenten wie: „Wir sind alle Techniker und wissen, daß es eine 100%ige Sicherheit nicht gibt, es bleibt ein – wenn auch sehr kleines – Risiko übrig, das wir bereit sein müssen zu tragen, ...“ (Ettemeyer 1975, S. 44) ist daher die politische Frage entgegensetzen: in wessen Interesse?

---

Grundlagen für eine militärische Nutzung ihrer Uranvorkommen erwerben. „Die Durchsetzung der Atomenergie im Inland soll in erster Linie, wenn auch nicht ausschließlich, diese Absatzmöglichkeiten vorbereiten“ (ebd., S. 30). Vgl. dazu auch: Traube 1980.

Besorgnis um die Konkurrenzfähigkeit der westdeutschen Kernenergieindustrie ließ im März 1981 der Vorstandsvorsitzende der Kraftwerk-Union, Barthelt, durchblicken, indem er als Folge des offensiven Ausbaus der Kernenergie in Frankreich für die französische Kraftwerksindustrie einen Kostenvorteil von mehreren Milliarden DM vorrechnete (vgl. Weser-Kurier vom 12.3.81, S. 4).

## **Teil III**

# **Didaktische Rahmenbedingungen politischen Lernens am Thema Kernenergie**

## **10 Didaktisch-methodische Eignung des Themas**

Nachdem die naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen sowie die politischen und gesellschaftlichen Probleme der Kernenergie dargelegt worden sind, muß unter Berücksichtigung der im ersten Teil angestellten Überlegungen zur Initiierung politischer Lernprozesse im Unterricht das Thema hinsichtlich seiner diesbezüglichen Eignung untersucht werden.

Dabei nehmen die allgemein entwickelten Forderungen zum politischen Lernen im Fachunterricht die Funktion didaktischer Kategorien ein, mit denen die didaktische Reflexion strukturiert wird.

Aus der Erörterung der Bedingungen politischen Lernens im (naturwissenschaftlichen) Unterricht lassen sich m.E. drei Gesichtspunkte herausstellen, unter denen das Thema auf seine inhaltlichen Möglichkeiten und didaktischen Ansatzpunkte untersucht werden kann:

(1) Da Effizienz politischen Lernens i.S. einer Veränderung von Verhaltensdispositionen, wie zu zeigen versucht wurde, nur erwartet werden kann, wenn der Unterrichtsinhalt erfahrungsbezogen die Lebensumstände der Schüler berührt, muß im Hinblick auf die Entwicklungsmöglichkeiten von Schülermotivation unter einem lernpsychologisch bedeutsamen Blickwinkel gefragt werden:

– Lassen sich die Inhalte des Themas mit dem Lebenszusammenhang der Schüler so vermitteln, daß die Schüler sich von den angesprochenen Problemen betroffen fühlen und so die Bedeutung möglicher Lernprozesse für die eigene gesellschaftliche Orientierung und Praxis erkennen?

(2) Die Bestimmung von Rahmenqualifikationen, die durch emanzipatorisch orientierte Lernprozesse angestrebt werden sollen, führt unter Berücksichtigung der persönlichkeitsstrukturell umfassenden Wirksamkeit politischer Lernprozesse zur Inhaltsanalyse, die von den Fragen geleitet wird:

– Stellt das Thema in seiner Grundstruktur eine inhaltliche Verknüpfung naturwissenschaftlich-technischer mit politischen Zusammenhängen dar, die – im Unterricht herausgearbeitet – das inhaltliche Wissen und die reflexive Kompetenz der Schüler erweitern, um ihnen so zu ermöglichen, ihren individuellen Lebenszusammenhang als gesellschaftlich begründet und daher veränderbar zu begreifen?

– Erlaubt das Thema eine inhaltliche Gestaltung, die den Schülern Engagementmöglichkeiten einräumt, deren Wahrnehmung zum Aufbau ihrer Sozialkompetenz beiträgt, indem sie z. B. in Zusammenarbeit mit anderen Informationen erarbeiten, einen Standpunkt vertreten, ihre Position für andere verständlich darlegen usw?

(3) Während der motivationale und der inhaltsorientierte Gesichtspunkt die didaktische Reflexion über jeden Unterrichtsinhalt mit politischem Erziehungsanspruch anleiten müssen, ergibt sich aus der – einem heimlichen Lehrplan gleichkommenden – spezifischen Sozialisationswirkung des naturwissenschaftlichen Unterrichts eine dritte Fragestellung.

Wie dargelegt (vergl. S. 9 ff.), entwickeln Schüler in einem an der Fachsystematik orientierten Unterricht affektive Distanz zu naturwissenschaftlichen Inhalten oder verkümmern zu eben jenen „Experten“, denen Objektivitäts- und Sachgesetzgläubigkeit die Basis für eine politisch-gesellschaftliche Bewertung der naturwissenschaftlich-technischen Errungenschaften zerstören.

Um diesem, zur Autoritätsfixierung bzw. zur Resignation vor Autoritäten führenden, Prozeß entgegenzuwirken, ist die Eignung des Stoffes für den Abbau resignativer bzw. rezeptiver Haltungen zu den Naturwissenschaften zu hinterfragen: – Lassen sich durch die Behandlung des Themas im Unterricht den Schülern Erfahrungen vermitteln, die Selbstsicherheit hinsichtlich der Durchschaubarkeit und Aneignungsmöglichkeit von komplexen naturwissenschaftlichen Sachverhalten aufbauen, so daß ein für die selbstbestimmte Orientierung und Handlung in einer zunehmend naturwissenschaftlich-technisch strukturierten Umwelt notwendiger Abbau von Distanz und Wissenschaftsgläubigkeit zugunsten der Einsicht in die eigene Erkenntnisfähigkeit möglich wird?

zu (1) Objektiv betroffen sind die Schüler als Mitglieder dieser Gesellschaft, in der das Risiko Kernenergie gegen das Risiko einer Energieversorgungslücke gestellt wird, von den Problemen der Kernenergie ohnehin.

Bereits die in sämtlichen Medien stattfindende Diskussion macht für die Schüler die allgemeine Betroffenheit individuell erfahrbar. Von Schülern der Sekundarstufe 1 kann angenommen werden, daß sie um die gesellschaftliche Umstrittenheit der Kernenergie wissen und sich eventuell bereits selbst einen Standpunkt gebildet haben.

Die Thematisierung der Kernenergie im Unterricht dringt somit in das Weltverständnis der Schüler ein und zwingt sie, ihren Standpunkt neu zu bedenken, ihn zu verteidigen oder gegebenenfalls zu verändern. Doch die tatsächliche Betroffenheit der Schüler von dem Problem Kernenergie reicht tiefer als in den kognitiven Bereich von Meinungsverschiedenheiten, denn vermittelt über den Zusammenhang von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch berührt es die gesellschaftlich ausgeformte Bedürfnisstruktur der Schüler. Diese sind einem Konsumfetischismus unterworfen, der ohne die Kenntnis der gesellschaftlichen Bedingungen alltäglicher Konsumtion soziale und kulturelle Errungenschaften im Schülerbewußtsein zu Selbstverständlichkeiten degradiert.

Da Komfort im Haushalt und Verkehr, ein überreiches Warenangebot und

zunehmende Ausweitung der Freizeit- und Unterhaltungsindustrie diejenigen Bereiche des Lebenszusammenhangs der Menschen in unserer Gesellschaft darstellen, in denen Energiesparmaßnahmen und die Absage an ein rein quantitatives Wachstum unmittelbar auf den Lebensstil jedes Individuums Einfluß nehmen werden, berührt die Diskussion über die Kernenergie und deren wirtschaftspolitischen Zusammenhang direkt die Lebensinteressen der Schüler.

Sofern es im Unterricht gelingt, die objektive Betroffenheit der Schüler didaktisch zu vermitteln, ist ein Lernklima geschaffen, das engagiertes Schülerverhalten erwarten läßt und eine realitätsbezogene Einübung argumentativer Auseinandersetzungsformen ermöglicht. Sowohl der bei den Schülern erwartete bisherige Standpunkt in der Kontroverse als auch die Problematisierung ihrer Konsumgewohnheiten stellen Verhaltensmotive dar, die dem Unterricht einen realistischen Charakter hinsichtlich politischer Artikulation geben können, da die Schüler bestrebt sein werden, die neu gelernten naturwissenschaftlichen Fakten und gesellschaftspolitischen Probleme für eine präzisere und fundierte Begründung ihres Standpunkts fruchtbar zu machen.

zu (2) Während in der öffentlichen Diskussion die Kernenergiebefürworter die Forderung nach einem Ausbau der Kernenergie mit der wirtschaftlichen Notwendigkeit einer langfristigen Energiebedarfsdeckung und der Warnung vor den arbeitsmarktpolitischen Konsequenzen eines durch Energiemangel verursachten Wachstumsstops begründen und mit Verweis auf die zuverlässige technologische Beherrschung der zugrundeliegenden naturgesetzlichen Prozesse rechtfertigen, argumentieren die Kernenergiegegner bei ihrer Warnung vor den Unfallrisiken und der biologischen Gefahr der Radioaktivität ebenfalls auf der Basis von naturwissenschaftlichen Grundlagen und versuchen, auf wirtschaftspolitischer Ebene, die von den Kernenergiebefürwortern behauptete Notwendigkeit der Kerntechnologie zur Vermeidung wirtschaftlicher Krisen zu widerlegen.

Da jeder Bürger von dem Problem der Kernenergie vermittelt über die sozial- und wirtschaftspolitischen Folgen fehlender Energiebedarfsdeckung und den möglichen Umweltschäden durch Störfälle und Radioaktivität in seinem Lebenszusammenhang objektiv von dem Ausgang der Kontroverse betroffen ist, muß in einem Staat mit demokratischem Anspruch die Möglichkeit der Beteiligung jedes einzelnen an Entscheidungsprozessen gewährleistet sein. „Der Durchsetzungsanspruch des Staates bedeutet nichts anderes, als daß erst nach einem breiten Willensbildungsprozeß in der Bevölkerung ein sinnvoller Entscheidungsprozeß in den durch freie Wahlen legitimierten Parlamenten stattfinden kann“ (Matthöfer 1977, S. 12f.).

Selbstverständlich setzt eine produktive Interessenswahrnehmung voraus, sich in der Komplexität wirtschaftspolitischer und naturwissenschaftlich-technischer Fragestellungen orientieren zu können. Daher muß auch die Schule mit ihren oben erwähnten demokratischen Erziehungsansprüchen ein gesellschaftlich tiefgreifendes Problem wie die Kernenergie aufgreifen und die Schüler befähigen, hier einen inhaltlich fundierten Standpunkt zu beziehen.

Zudem bietet das Thema die Möglichkeit, beim Schüler die Erkenntnis der



gesellschaftlichen Strukturierung des individuellen Lebenszusammenhangs zu fördern.

Sowohl die Bewußtwerdung der energiepolitischen Grundlagen der gegenwärtigen individuellen Lebens- und Konsumsgewohnheiten als auch die Einsicht, daß die jedem Individuum zugemuteten biologischen und technischen Risiken der Kernenergie Ergebnis gesellschaftspolitischer Entscheidungsprozesse darstellen, führen von der Wahrnehmung individueller Lebensumstände zu einer die gesellschaftlichen Bedingungen reflektierenden Perspektive.

Durch die Verflechtung energiepolitischer, ökonomischer, biologischer technischer und sozialpolitischer Aspekte erreicht das Unterrichtsthema Kernenergie eine Vielschichtigkeit, die es geeignet macht, intellektuelle Fähigkeiten der Schüler wie Komplexität des Denkens, Systematisierungs- und Strukturierungsvermögen, Erkenntnis kausaler Zusammenhänge etc. während der Auseinandersetzung mit einem gesellschaftlich relevanten Problem zu fördern.

Neben den auf die Erweiterung der reflexiven Kompetenz gerichteten Intentionen lassen sich am Thema Kernenergie ebenso Lernprozesse im Bereich der sozialen Verhaltensmöglichkeiten realisieren: sachbezogenes Argumentieren, Erarbeitung und Vertretung von Standpunkten in Gruppen, Antizipation und Berücksichtigung der Positionen der Diskussionsgegner, Erstellung informativer Materialien für Nicht-Fachleute (Ausstellung, schulöffentliche Podiumsdiskussion, Info-Broschüre, in Gruppen verfaßte Artikel für die Schülerzeitung).

zu (3) Die gesellschaftliche Auseinandersetzung um die Kernenergie offenbart gegenwärtig augenfällig die Notwendigkeit eines naturwissenschaftlich-technischen Orientierungsvermögens, um kompetent politische Willensbildungs- und Entscheidungsprozesse nachvollziehen bzw. beeinflussen zu können. Gerade Kernenergiebefürworter versuchen häufig mit der Behauptung mangelnder Sachkompetenz bei den Kernenergiegegnern, Ängste und Widerstand gegen die atomare Energieversorgung als unbegründet zu disqualifizieren.

So beschwert sich Dr. W. Rudloff, seinerzeit Geschäftsführer des Deutschen Atomforums, daß „es Scharlatanen aufgrund der weitverbreiteten Unsicherheit in der Beurteilung wissenschaftlicher Ergebnisse leicht gemacht wird, mit pseudowissenschaftlichem Anstrich und Gehabe, gutgläubige Bürger zu verunsichern“ (zitiert nach v. Cube 1976, S. 61). Robert Gerwin meint, den Widerstand anthropologisch begründen zu müssen: „Skepsis und Irrationalität gehören nun einmal zum Wesen des Menschen ...“ (Gerwin 1977, S. 158).

Allerdings erwächst auf der Basis eines im mangelnden Wissen begründeten Fehlens an Selbstvertrauen eher Autoritätsgläubigkeit und Anerkenntnis der Sachkompetenz des Fachmanns als die Bereitschaft zum Engagement gegen gesellschaftliche Machtträger.

Das Ausbleiben öffentlicher Proteste gegen den Bau des KKW's Biblis kommentiert der dortige Amtsrat Schulz mit den Worten: „Die Bibliser sind eigentlich so ehrlich, zuzugeben, daß sie als Nicht-Fachleute die Dinge nicht überblicken können“ (zitiert nach Frankfurter Rundschau v. 28.9.74, S. I).

Da naturwissenschaftlich-technisch ungeschulte Individuen der Gefahr politischer Manipulation durch Argumentationen auf scheinbar wertfreier naturwissenschaftlicher Basis ausgesetzt sind, müssen dem Schüler Kenntnisse der technischen Grundlagen der Kernenergie und ihres naturwissenschaftlichen Zusammenhangs vermittelt werden. Zudem trägt die Konfrontation öffentlicher Behauptungen von Kernkraftwerksbetreibern mit technischen und biologischen Fakten zu einem Abbau der Wissenschaftsgläubigkeit der Schüler bei: Gegen die beschwörend angeführte Sachgesetzmäßigkeit des gesellschaftlichen Verhältnisses von Lebensqualität und Energieverbrauch steht die Energievergeudung durch Wärmeverluste in Haushalt und Industrie; Unfälle, wie die in Harrisburg und Brunsbüttel lassen an den Sicherheitsbeteuerungen der Kernkraftwerksbetreiber zweifeln, und die als wissenschaftliche Erkenntnis ausgegebene Behauptung der biologischen Unschädlichkeit eines KKWs im Normalbetrieb erweist sich als unredlich, wenn festgestellt wird, daß über die radiotoxische Wirkung niedrig strahlender Materie wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse noch nicht vorliegen.

Wenn es gelingt, den Schülern zu vermitteln, daß absolut gültige Aussagen über die technische Sicherheit und gesundheitliche Gefährlosigkeit der atomaren Energieversorgung auf naturwissenschaftlich-technischer Ebene nicht möglich sind, und somit das einer Gesellschaft zugemutete Risiko Ergebnis politischer Entscheidungen ist, kann am Unterrichtsthema Kernenergie erfahrbar gemacht werden, daß Wissenschaftsgläubigkeit und Autoritätsfixierung zur politischen Selbstbeschränkung und damit zur Fremdbestimmung führen.

## **11 Einbettung in die Rahmenpläne**

Die Vielzahl von Unterrichtsfächern, die für eine Thematisierung der Kernenergie geeignet sind, Unterschiede in den Lehrplaninhalten der einzelnen Bundesländer und schulzweigspezifische Differenzen in den fach- und jahrgangsbezogenen Lehrplananforderungen erlauben es im Rahmen dieser Arbeit nicht, detaillierte Nachweise für die Rahmenplanabsicherung des Themas Kernenergie zu führen.

Obwohl in den Rahmenplänen das Thema Kernenergie zumeist dem Fachunterricht Physik zugeordnet wird, läßt sich durch Bezugnahme auf allgemeine Erziehungsziele, wie sie in Präambeln und Formulierungen über den Bildungsauftrag der Schule in Lehrplänen auftreten, rahmenplanrechtlich die Behandlung des Themas für alle naturwissenschaftlichen Fächer und darüber hinaus für den Unterricht in Wirtschafts-, Sozial- und Gemeinschaftskunde, Gesellschaftslehre u. ä. legitimieren.

Für den Bereich der Naturwissenschaften erheben Rahmenpläne den Anspruch, neben der Vermittlung inhaltlichen Fachwissens die Entwicklung einer Grundlage für die Orientierung der Schüler in der zunehmend technologisierten Gesellschaft anzuleiten:

„Naturwissenschaft und Technik prägen unsere Gesellschaft. Deshalb gehören naturwissenschaftliche Kenntnisse, Denkweisen und Arbeitstechniken zur Grund-

bildung für alle“ (Ministerium für Kultur und Sport in Baden-Württemberg 1979, S. 170).

„Zu den Fähigkeiten, die besonders im naturwissenschaftlichen Unterricht gefördert werden können, gehören die Kommunikationsfähigkeit und die Handlungsfähigkeit. Beide sind in einem demokratischen Staatswesen für den einzelnen und für die Gesellschaft von entscheidender Wichtigkeit“ (Niedersächsische Kultusminister 1974, S. 28).

Der Bremer Lehrplanentwurf erhebt den Anspruch, die Inhalte für den Unterricht so auszuwählen, „daß ein Bezug zur Umwelt des Schülers, zu anderen Fächern und zu gesamtgesellschaftlich wichtigen Phänomenen hergestellt wird“ (Senator für Bildung 1979, S. 1).

Neben den erzieherischen Rahmenanforderungen finden sich in den Vorbemerkungen und Begründungen für die fachspezifisch ausgewiesenen Lehrplaninhalte Aufforderungen an die unterrichtenden Lehrer, den Unterricht so zu gestalten, daß Schüler Einsicht in den Zusammenhang von naturwissenschaftlicher Erkenntnis und gesellschaftlicher Gestaltung der individuellen Lebensumstände gewinnen.

So lassen sich in Lehrplänen für das Fach Chemie Anforderungen feststellen wie:

„Der Physik und Chemieunterricht soll dem Schüler Einsichten, Kenntnisse und Fertigkeiten vermitteln, die ihm helfen, Erscheinungen und Vorgänge seiner Umwelt und späteren Arbeitswelt zu deuten und zu erklären“ (Kultusminister von Nordrhein-Westfalen 1973, S. 2).

„Naturwissenschaftliche und gesellschaftliche Probleme sind eng mit einander verknüpft. Dem Chemieunterricht obliegt es, Grundlagen zu schaffen, die für das Verständnis dieser Fragen unumgänglich sind“ (Hessische Kultusminister 1976, S. 4).

„Die Naturwissenschaften gewinnen für uns eine immer größere Bedeutung. Die Erkenntnisse und Ergebnisse der Chemie wirken in das tägliche Leben eines jeden Menschen ein. Das allgemeine Ziel des Unterrichts ist es, den Schüler zu befähigen, sich mit seiner Umwelt auseinanderzusetzen, um gegenwärtige und zukünftige Lebenssituationen selbständig bewältigen zu können“ (Kultusminister des Landes Schleswig-Holstein 1977a, S. 3).

„Die Chemie dringt mehr und mehr in alle Lebensbereiche ein und bestimmt wesentliche Teile unseres Alltags. Die Erkenntnisse eines sinnvollen Chemieunterrichts an allen Zweigen der Berliner Schule sollen dem Schüler eine wichtige Orientierungshilfe sein“ (Senator für Schulwesen o.Jg.b, S. 1).

Ähnliche Ansprüche werden auch an den Physikunterricht gestellt: „Die Schüler der Hauptschule sollen im Physik- und Chemieunterricht ihr Weltbild erweitern, sowie Fähigkeiten und Kenntnisse erwerben für die Bewältigung des Lebens in einer von Naturwissenschaft und Technik geprägten Umwelt“ (Bayerisches Staatsministerium 1977, S. 142). „Die Anwendung physikalischer Gesetze in der Technik erkennen und die gesellschaftlichen Auswirkungen berücksichtigen“ (Senator für Bildung 1979, S. 4).

Schließlich heißt es in Rahmenplanformulierungen für Biologie: „Im modernen Biologieunterricht haben Themen, die eine gesellschaftliche Bedeutung haben, besonderen Rang“ (Senator für Schulwesen o.Jg.c, S. 3).

„Die Kommission geht von der Setzung aus, daß im Mittelpunkt des zeitgemäßen Biologieunterrichts der Mensch stehen muß, wenn der Biologieunterricht die Schüler befähigen soll, jetzt und später im privaten und öffentlichen Bereich Entscheidungen von biologischer Relevanz zu fällen“ (Hessische Kultusminister 1972, S. 6).

Die Aktualität des Themas Kernenergie, die gesellschaftlich weitreichenden Konsequenzen energiewirtschaftlicher Mängel, ökologische Störungen in der Wachstumsgesellschaft, sowie der tiefgreifende gesellschaftliche Konflikt um eine komplexe Technologie geben im Zusammenhang mit den beispielhaft angeführten Lehrplananforderungen und den Überlegungen über die didaktischen Voraussetzungen politischen Lernens im allgemeinen und am Thema Kernenergie im besonderen hinreichende Legitimation, am Thema Kernenergie exemplarisch die Wechselwirkung zwischen Naturwissenschaft, Umwelt und Gesellschaft offenzulegen.

Zudem berührt das Thema in der hier für eine Unterrichtseinheit aufgearbeiteten Form fachspezifische Lerninhalte der naturwissenschaftlichen Fächer. Für den Bereich Biologie stellen sich Bezugspunkte zu Themen wie Genetik (Mutation durch Radioaktivität), Zytologie (Wirkung der Radioaktivität auf Zellen), Zivilisationskrankheiten (künstliche Radioaktivität), Nahrungsketten in ökologischen Systemen (Anreicherungsprozesse), Wechselwirkung Organismus-Zelle (körperliche Schäden durch Radioaktivität), Umweltbelastung durch Technik her. Im engeren Sinn chemische Fachinhalte sind über die Bereiche Atombau/Atommodelle, Isotope, Atomgewicht integriert, und allgemeine Themen der Physik werden durch die Behandlung von Radioaktivität und Kernspaltung, Energieumwandlung und Stromerzeugung angesprochen.

Sofern die Kernenergie in Rahmenplänen für sozialwissenschaftlich orientierte Unterrichtsfächer nicht ausdrücklich als Thema genannt ist, lassen sich über die Problemfelder Rohstoffabhängigkeit der BRD, Wirtschaftswachstum, Energieversorgung, Umweltverschmutzung, politische Mitbestimmung in hochindustrialisierten Gesellschaften, gesellschaftliche Konflikte u.ä. Bezüge zu traditionellen Themenstellungen in diesen Fächern herstellen.

## **12 Lernvoraussetzungen in der Sekundarstufe I: Umweltorientierung in der Adoleszenzphase**

Um ein vielschichtiges Thema wie Kernenergie fruchtbar in seinen naturwissenschaftlichen und wirtschaftlichen Zusammenhängen entfalten zu können, bedarf es eines Entwicklungsstands der Schüler, der intellektuell eine Loslösung der Verarbeitung von Umwelteinflüssen aus dem unmittelbaren Erfahrungszusammenhang ermöglicht und die Schüler befähigt, auf der Basis des von Piaget als „formal-operationales Denken“ (vgl. Holzkamp 1974, S. 83 ff.) beschriebenen

Prozesses, neue Informationen und Erfahrungen in ein sich entwickelndes komplexes, von Wertvorstellungen getragenes Weltbild einzuordnen.

Diese individuell bedeutsamen Lernvoraussetzungen müssen von einer Handlungsorientierung ergänzt werden, die die Teilhabe der Schüler am gesellschaftlichen Geschehen motiviert und steuert. Damit ist es ihm möglich, die Auswirkungen seiner Einstellungen und Handlungen auf seine Umwelt zu erkennen und Selbstverantwortlichkeit zu entwickeln.

Dieses, in der Psychologie und den Sozialwissenschaften als „Über-Ich“ bzw. „moralisches Bewußtsein“ bezeichnete Persönlichkeitsmerkmal ist zusammen mit dem oben beschriebenen abstrakten Denkvermögen Voraussetzung für die Schüler, an der Auseinandersetzung um die Kernenergie problem erfassend und sozial reflektierend teilzunehmen, denn: „Erst wenn die Realität als Ausschnitt aus einer Klasse alternativer Möglichkeiten begriffen werden kann, wird sie hinterfragt auf ihre Notwendigkeit“ (Döbert/Nunner-Winkler 1973, S. 312).

Während eine entwicklungspsychologische Orientierung erforderlich ist, um den kognitiven Entwicklungsstand zu erhellen, muß eine soziologische Betrachtungsweise, ausgehend von den Ansprüchen des sozialen Systems an den Heranwachsenden, nach den vorhandenen Voraussetzungen für jene interaktionstheoretisch definierbaren Verhaltensqualitäten fragen, die den Aufbau stabiler, prinzipiengeleiteter und eigenverantwortlicher Interaktionsbeziehungen des Schülers zu seiner Umwelt ermöglichen.

Mit ihrem Versuch, einen persönlichkeitsstrukturell fundierten Ansatz zur Erklärung von Deutungsmustern der sozialen Realität durch Jugendliche zu begründen, bemühen sich Döbert/Nunner-Winkler, eine die entwicklungspsychologischen und interaktionstheoretischen Aspekte integrierende Konzeption zu entwickeln, die hier als Grundlage für die Darstellung der allgemeinen Lernvoraussetzungen dienen kann. Der von ihnen als idealtypisches Konstrukt gebildete Begriff der „kommunikativen Kompetenz“ umfaßt insofern beide Aspekte, als daß, von den individuellen Fähigkeiten aus betrachtet, kommunikative Kompetenz eine flexible, auf Einsicht in ihre Zweckmäßigkeit beruhende Orientierung an gesellschaftlichen Regeln erfordert, und auf der Ebene der gesellschaftlichen Verhaltenserwartungen eine sozialstrukturelle Situation des Individuums voraussetzt, die in ihrer Komplexität und Offenheit erst die Selbständigkeit und Selbstverantwortlichkeit des Individuums erfordert (vgl. ebd., S. 309).

So entstehen während der Pubertät für den Schüler neue Rollenerwartungen, für die bisher keine eindeutigen Handlungsmuster entwickelt worden sind. Während zuvor die verschiedenen Rollen des Schülers eindeutig hierarchisiert sind – er ist zunächst Sohn bzw. Tochter und dann erst Schüler, Freund usw. – und Verantwortlichkeit von ihm in letzter Instanz auf familiäre Bezugssysteme gerichtet ist, entwickelt sich nunmehr durch Aufnahme intensiver peer-group Beziehungen, Sexualitätsinteressen, Orientierung auf die zukünftige Berufs- und Staatsbürgerrolle eine Vielzahl unter Umständen miteinander konfligierender Rollenerwartungen, die zunehmend selbständige Entscheidungen vom Schüler verlangen und zunächst eine Desorientierung und Destabilisierung seiner Persönlichkeit hervorrufen.

Daher kann einerseits davon ausgegangen werden, daß Schüler der Sekundarstufe I Sensibilität für die Bedeutung ihrer Handlungen für die soziale Umwelt entwickeln; andererseits erfordert die langfristige Aufhebung dieser Phase – im Wortsinn als Transformation auf eine höhere Entwicklungsstufe zu verstehen – eine didaktisch durchdachte Konfrontation der Schüler im Unterricht mit Situationen, die der Komplexität und Offenheit ihrer sozialen Situation entsprechen.

Auf kognitiver Ebene gehen mit der Umstrukturierung des sozialen Zusammenhangs Konfrontationen mit neuem Wissen und Erfahrungen einher, die zunehmend eine Erfassung von Beziehungen zwischen den isoliert herangetragenen und wahrgenommenen Teilaspekten der Umwelt erfordern. Die entwickelte Fähigkeit zum theoretischen Denken ermöglicht es dem Schüler, auf der Basis schlußfolgernder Operationen neue Erfahrungen vor dem Hintergrund der bisherigen zu interpretieren und – so relativierend aufgearbeitet – in sein Weltbild zu integrieren. Ebenso erlaubt sie dem Schüler, Alternativen zu einem bestehenden Zustand zu denken, sowie Realität und Alternative mit Hilfe eigener Maßstäbe zu vergleichen.

### **13 Intentionen der Unterrichtseinheit**

Angesichts der im vorigen Abschnitt beschriebenen intellektuellen Offenheit und sozialen Umorientierung der Schüler ist darauf zu achten, daß konkrete Einstellungen der Schüler nicht als Ergebnis manipulativer Einflußnahme produziert werden. In Anlehnung an die im Kapitel I erarbeiteten allgemeinen Zielsetzungen des politischen Lernens ist das oberste, inhaltsgebundene Ziel der Unterrichtseinheit, die Schüler zu befähigen, zu der naturwissenschaftlich-technische und gesellschafts-politische Aspekte umfassenden Problematik der Kernenergie begründet Stellung zu nehmen und die jeweiligen Teilprobleme auf der Basis des Gesamtzusammenhangs beurteilen zu können.

Entsprechend den in Abschnitt 1.2.2 ausgeführten Überlegungen über die verschiedenen Dimensionen politischen Lernens, werden die Intentionen in die beiden Bereiche der kognitiven und sozialen Zielsetzungen aufgeteilt.

Dabei findet innerhalb der kognitiven Dimension nochmals eine Unterscheidung zwischen inhaltlich-informativen Intentionen und jenen Intentionen statt, die auf eine Verbesserung der kognitiven Qualifikationen gerichtet sind.

Ebenso ist die Sozialkompetenz entsprechend der Begründung auf Seite 22 noch einmal untergliedert: Die affektive Dimension wird ergänzt durch die Zielebene, auf der soziale Fähigkeiten (pragmatisch-handlungsbefähigende Dimension) angestrebt werden.

Als erste Vermittlung der dargestellten allgemeinen Erziehungsziele zu den konkreten Zielsetzungen der anschließend entwickelten Unterrichtseinheit, bleiben die hier formulierten Intentionen noch allgemein und dienen als Orientierungsrahmen für die Aufstellung der Lernziele und Intentionen in den einzelnen Stunden.

## **A. Kognitive Dimension**

### *inhaltlich-informative Dimension*

Die Schüler sollen

- grundlegendes Wissen der energiepolitischen und naturwissenschaftlich-technologischen Aspekte der Kernenergie erwerben und dabei erkennen, daß die Beziehung eines Standpunktes zur Kernenergie wirtschaftspolitische Prämissen und naturwissenschaftlich-technologische Risikoerwägungen berücksichtigen muß.
- erfahren, daß die Bewältigung von Umweltfragen naturwissenschaftlich-technisches Wissen voraussetzt und somit motiviert werden, sich auch in Zukunft mit naturwissenschaftlichen Problemen auseinanderzusetzen.
- ihren bisher unreflektiert betriebenen Energiekonsum als gesellschaftlich bedeutsam erkennen, kritische Distanz gegenüber Energievergeudung erwerben und Energie als Politikum begreifen.

### *Dimension der kognitiven Fähigkeiten*

Die Schüler sollen

- in die Lage versetzt werden, neu auftretende Probleme auf der Basis eines Grundwissens zu lokalisieren, sie in das bisherige Wissen einzuordnen um so die Voraussetzungen zu entwickeln, mit Hilfe von selbständig zu erarbeitenden Informationen das Problem zu lösen.
- befähigt werden, bei der Vertiefung in Teilprobleme den Gesamtzusammenhang der einzelnen Aspekte zu berücksichtigen.

## **B. Soziale Dimension**

### *affektive Dimension:*

Die Schüler sollen

- die Erfahrung machen, daß mit dem Grad der Informiertheit sich die Qualität eines Standpunktes verbessert und dadurch die grundlegende Motivation erwerben, sich weiterzubilden und hinzuzulernen.
- mit der Erkenntnis, daß ihr Standpunkt zur Kernenergie wirtschaftspolitische Folgen beinhaltet, ein Bewußtsein von ihrer politischen Handlungsfähigkeit bekommen.
- die Bereitschaft erwerben, auch entgegengesetzte Standpunkte nachzuvollziehen, um diese entweder qualifizierter zu widerlegen oder ihren eigenen neu zu formulieren.
- aus der Erfahrung, ein zunächst komplex erscheinendes Problem aufgliedern und erarbeiten zu können, den Mut gewinnen, (natur-) wissenschaftliche Autoritäten zu hinterfragen.
- durch Erfahrung ihrer Fähigkeit, sich in offenen und umstrittenen Fragen orientieren zu können, ihre Persönlichkeit stabilisieren und das notwendige

Selbstvertrauen zur Bewältigung entwicklungsbedingter sozialer Verunsicherung erwerben.

### *pragmatisch-handlungsbefähigende Dimension*

Die Schüler sollen

- ihre Fähigkeit zur sozial konstruktiven Verarbeitung unterschiedlicher Standpunkte verbessern, indem sie grundlegende Techniken einer sachlichen Diskussionsweise einüben (Einhaltung von Rednerlisten, Eingehen auf Beiträge etc.).
- durch Wahrnehmung von Engagementmöglichkeiten sich als politisches Subjekt erfahren und lernen, ihren Standpunkt durch geeignete Methoden anderen zu vermitteln (Ausstellung, Podiumsdiskussion, Schülerzeitungsartikel).

## **14 Didaktisch-methodische Konsequenzen für die Entwicklung der Unterrichtseinheit**

### **14.1 Didaktische Reduktion und Akzentuierung**

Die didaktische Schwerpunktsetzung muß von der Voraussetzung ausgehen, daß das primäre Ziel der politischen Bildung Handlungs- und Einstellungsdimensionen der Schüler berührt, nicht im Sinne der Herausbildung eines konkreten Standpunktes, sondern eher als Vertiefung von Problembewußtsein verstanden.

Dieses wird sich um so qualifizierter herausbilden, je eingehender die Schüler mit den unterschiedlichen Standpunkten zur Kernenergie vertraut werden.

Diese Überlegung führt zu einer wichtigen Akzentuierung im Unterrichtsaufbau: Die in der öffentlichen Diskussion umstrittenen Aspekte der Kernenergie sollen als solche in den Unterricht eingebracht werden, einerseits um manipulative Einflußnahme durch Prioritätensetzung durch den Lehrer zu verhindern, andererseits um Schülern ihren Standpunkt als einen relativen zu verdeutlichen und sie zu veranlassen, ihre Meinung gegenüber gut fundierten Einwänden neu zu begründen bzw. gegebenenfalls neu zu bestimmen.

Mit dieser Akzentuierung ist gleichzeitig ein Maßstab für die inhaltliche Reduktion des Problembereichs gegeben:

Sofern das Unterrichtsziel der Herausbildung einer Orientierungshilfe zum Problem Kernenergie dient, ist es überflüssig, jedes Detailproblem im Unterricht zu thematisieren, sondern der Schüler muß eine Grundlage inhaltlichen Wissens erwerben, die es ihm im Zusammenhang mit Fähigkeiten der Informationsverarbeitung und des Hinterfragens von einseitigen Positionen ermöglicht, sich bei auftretenden Problemen kompetent zu informieren.

Daher ist es m. E. nicht erforderlich, im Unterricht alle relevanten Reaktortypen zu behandeln; wichtiger ist es, daß die Schüler die grundlegenden technischen Probleme der wirtschaftlichen Nutzung der Kernspaltung in ihren naturwissenschaftlichen Grundlagen begreifen und die Lösung dieser Probleme an einem



ausgewählten Reaktortyp kennenlernen. Mit der Einsicht in die Grundprobleme ist die Basis geschaffen, um die anderen Reaktortypen, die lediglich andere Lösungen derselben Probleme darstellen, in ihrer Funktion zu verstehen. Allerdings wird der Schüler nur dann sein Wissen für die Erarbeitung weiterer Probleme anwenden können, wenn er die Anwendung des Wissens gelernt hat. Die Fähigkeit, aus Tabellen, Skizzen, fachlichen Abhandlungen die relevanten Informationen zu ziehen, stellt dafür eine unabdingbare Voraussetzung dar. Daher liegt ein weiterer methodischer Schwerpunkt der Unterrichtsplanung in der Schaffung selbständiger Erarbeitungsmöglichkeiten von Informationen aus Publikationen, wie sie in der öffentlichen Diskussion um die Kernenergie Verwendung finden.

Da die Effizienz dieser Methode in ihrer langfristigen Wirkung liegt, die Schüler Lernen zu lehren, wird – trotz der sich eventuell auf die Inhaltsquantität einschränkend auswirkenden Folgen – langfristig ein qualitativ größerer Lernzuwachs erreicht als durch Vorgabe sämtlicher Informationen durch den Lehrer.

So wird exemplarisch für die Kontroverse um die bautechnische Sicherheit eines Reaktors die Sicherheit des Druckgefäßes und die Funktionalität des Notkühlungssystems behandelt, an denen die Schüler die für alle Sicherheitsfragen entscheidende Tatsache lernen, daß Aussagen über Unfallgefahren nur hypothetischen Charakter haben, denen allenfalls Plausibilität zukommt, die jedoch nicht die Qualität wissenschaftlicher Erkenntnis erreichen können.

Mit dieser Grundhaltung werden sie die Auseinandersetzung um kerntechnische Unfallrisiken qualifizierter verfolgen können, als es ihnen durch eine bloße Auflistung der zahlreichen Unfallgefahren möglich wäre.

Das Konzept, den Schülern durch Auswahl exemplarischer Inhalte die Einübung von Fähigkeiten der selbständigen Orientierung in dem sich ständig aufgrund der gesellschaftspolitischen, wirtschaftlichen und technologischen Entwicklung verändernden Problem Kernenergie zu ermöglichen, erlaubt es, die in 12–14 Unterrichtsstunden ohnehin nicht erschöpfend zu behandelnden Folgeprobleme der Kernenergie fruchtbar anzusprechen.

So ist es notwendig, den Schülern den wirtschaftlichen und technischen Strukturzusammenhang von Wiederaufarbeitungsanlage, Schnellem Brüter und Entsorgung zu verdeutlichen. Eine vertiefende Behandlung der einzelnen Stationen des kerntechnischen Brennstoffkreislaufs ist jedoch zeitlich nicht möglich und auch nach erfolgreicher Umsetzung der Zielvorstellungen der Unterrichtseinheit nicht nötig, da die Schüler kompetent sein müßten, sich über weitere inhaltliche Sachfragen zu den einzelnen Anlagen zu orientieren.

Ebensowenig ist in diesem Rahmen das Aufgreifen von Alternativen zur Kernenergie möglich, da dieses die vertiefende Behandlung der geologischen, meteorologischen, wirtschaftspolitischen und technologischen Dimensionen erfordert, will man nicht auf der Ebene bloßer Feststellungen über die Möglichkeit alternativer Energiebereitstellung verharren. Meines Erachtens ist mit der Thematisierung von Grundproblemen zukünftiger Energiebedarfsdeckung die Basis geschaffen, auf der die Schüler die Entwicklung der öffentlichen Diskussion über alternative Energieformen nachvollziehen können.

Aus dem Problemkomplex der Umweltbelastung wird nur das spezifisch kerntechnische Problem der Radioaktivität hervorgehoben und das für sämtliche Wärmekraftwerke gültige Problem der Aufheizung der Umwelt durch benutztes Kühlwasser ausgespart. Diese Umweltbelastung kann nur durch ausführliche Behandlung der Störungen in der Biosphäre aufgeheizter Flüsse, durch technischen Vergleich verschiedener Kühlverfahren und durch Aufarbeitung der Folgeprobleme der Kohleverbrennung ( $\text{SO}_2$  und  $\text{CO}_2$  Verschmutzung, Aufheizung der Atmosphäre) fundiert behandelt werden.

Da die Schüler nicht nur eine inhaltliche und methodische Grundlage zur sachkompetenten Auseinandersetzung mit der Kernenergie erwerben sollen, sondern zudem beabsichtigt wird, Fähigkeiten zur Vermittlung eigener Positionen bei den Schülern zu fördern, ist es sinnvoll, den Schülern Möglichkeiten zur Eigeninitiative über den bereits erwähnten Diskussionsrahmen hinaus zu eröffnen. So wird am Ende der Unterrichtseinheit vorgeschlagen, mit Schülern eine informative Ausstellung, eine Podiumsdiskussion u. ä. zu planen und durchzuführen.

## **14.2 Der methodisch-didaktische Zusammenhang der Stundenkomplexe**

Neben der Schwerpunktsetzung muß in der didaktischen Analyse die Strukturierung des Themas unter lernpsychologischen Gesichtspunkten erfolgen, die eine Umsetzung der ausgewählten Inhalte in Lernschritte anstrebt, einerseits um den sachlogischen Zusammenhang der Teilinhalte zu bewahren, andererseits um effektive Lernprozesse zu ermöglichen.

Die allgemeine Struktur des Lernprozesses erfordert zunächst eine motivierende, nach den Ergebnissen der bisherigen Ausführungen betroffen machende Konfrontation der Schüler mit dem Ausgangsproblem. Sachlogisch muß diese Phase eine schlüssige Ableitung der später zu behandelnden Einzelfragen ermöglichen und zudem die lernpsychologische Aufgabe erfüllen, bei den Schülern durch Erfahrung fehlender Kompetenz zur befriedigenden Problemlösung das Bedürfnis nach vertiefender Behandlung der Thematik zu wecken.

Sofern dieses gelingt, setzt die Phase der Entfaltung ein, in der die Schüler sich die für die Lösung des Ausgangsproblems notwendigen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten aneignen, um in der Phase der Anwendung das Ausgangsproblem – unter Hinzuziehung der neu erworbenen Kompetenz – qualifizierter zu durchleuchten.

Ein so hergestellter „Spannungsbogen“ vom Ausgangsproblem zur Lösung gewährleistet eine durchgängige Motivation der Schüler, da sie die Erarbeitung von Einzelproblemen aufeinander beziehen können und somit die für die effektive Bereitschaft zum Lernen förderliche Einsicht in den Sinnzusammenhang einzelner Lernschritte behalten. In dem ersten Stundenkomplex wird angestrebt, unter den Schülern über den inhaltlichen Einstieg in den wirtschaftspolitischen Begründungszusammenhang der Kernenergie und ihrer gesellschaftlichen Umstrittenheit, sowohl

Betroffenheit von dem Problem der Energieversorgung herzustellen, als auch die Erfahrung mangelnden Wissens zur befriedigenden Entscheidung pro bzw. contra Kernenergie anzubahnen.

So erwerben die Schüler über das Kennenlernen des Zusammenhangs von Energieverbrauchssteigerung, erhöhter Nachfrage nach elektrischem Strom, Wirtschaftswachstum, Lebensstandard und weltweiter Verknappung bisheriger Energieträger die energiepolitischen Grundkenntnisse für eine angemessene Einschätzung des Problems der gesellschaftlichen Energiebedarfsdeckung, vor deren Hintergrund die spätere Erarbeitung technisch-naturwissenschaftlicher Probleme der Kernenergie politisch vermittelt bleibt.

Eine besondere Bedeutung kommt in dieser Einstiegsphase der Wahl der Medien zu: Um die gesellschaftspolitische Bedeutung der Kernenergie auch während der Aufarbeitung im Unterricht möglichst realistisch beizubehalten, werden als Informationsträger in erster Linie authentische Medien gewählt, d.h. Materialien eingegeben, die auch in der Öffentlichkeit als Mittel der Auseinandersetzung um die kerntechnische Entwicklung benutzt werden (Skizzen und Tabellen aus Informationsschriften, Texte und Karikaturen aus Veröffentlichungen der Kernenergiebefürworter und -gegner).

Damit die Schüler Gelegenheit bekommen, sich selbständig mit Material der öffentlichen Meinungsbildung auseinanderzusetzen, wird bereits im ersten Stundenkomplex eine Phase der arbeitsteiligen Gruppenarbeit angeregt. Allerdings erfolgt die Sicherung von Ergebnissen mit Hilfe eines vorstrukturierten Arbeitsbogens, der zunächst noch eine Orientierungshilfe für die Arbeit mit den Medien bietet.

Der einführende Stundenkomplex wird mit einer ersten Diskussion um die Kernenergie beendet. Dabei erfahren die Schüler die Notwendigkeit einer tiefgreifenderen Beschäftigung mit dem Thema. Zudem bietet sich für den Lehrer die Möglichkeit, die Qualität des bisherigen Problembewußtseins der Schüler zur Energieversorgung, ihr Faktenwissen und ihre Fähigkeiten zur reflektierten Diskussion zu beobachten. Da mit der Unterrichtseinheit nicht in erster Linie abfragbares Wissen angestrebt wird, sondern das Ziel der Einheit auf eine Veränderung von Verhaltens- und Einstellungsdimensionen gerichtet ist, sind Lernerfolgskontrollen durch Vergleich von Vor- und Nachtests unsinnig. Lernfortschritte im angestrebten Bereich äußern sich in einer Verschiebung von emotional geprägtem Diskussionsverhalten zum sachlichen Argumentieren und in zunehmender Eigenständigkeit bei der Erarbeitung von Fragestellungen.

Mit dem zweiten Komplex wird die Wissensgrundlage für das naturwissenschaftlich-technische Verständnis der Kernenergie gelegt.

Die Behandlung der atomaren Grundlagen der Kernspaltung anhand eines einfachen Modells genügt, um den Schülern die grundlegende Qualität der Kernspaltung als eine in der Regel künstliche – vom Menschen verursachte – Elementenumwandlung begreifbar zu machen. Eine Einführung des qualitativ höheren Kugelwolkenmodells des Atombaus ist hier nicht erforderlich, da in Anlehnung an das Bohr'sche Atommodell sowohl die Erscheinung der Radioaktivität als auch der Kernspaltung veranschaulicht werden können.

Eine nach dem Aufbauprinzip gestaltete Folie über die Radioaktivität soll es dem Schüler ermöglichen, die jeweiligen Veränderungen im Atomkern selbständig zu formulieren. Ein Vergleich von Atomspaltung und Radioaktivität festigt das erworbene Wissen und baut bei den Schülern Routine im Umgang mit den neuen Begrifflichkeiten auf.

Die in dem zweiten Stundenkomplex vermittelte Sichtweise der Kernspaltung als ein in der Regel vom Menschen verursachter Eingriff in den Elementaraufbau der Stoffe, wird im dritten Komplex durch die Thematisierung der technischen Kontrollierbarkeit dieser Vorgänge weitergeführt. Gleichzeitig wird damit die Vermittlung von den kernprozessualen Grundlagen zur menschlichen Praxis geleistet.

Die Gegenüberstellung des Ziels der wirtschaftlichen Nutzung der Kernenergie mit der Wirkung von Atombomben dient nicht nur dem Abbau falscher assoziativer Verknüpfungen der Kerntechnik mit Atombomben, sondern ermöglicht es zudem, die Schüler selbständig die Frage nach den technologisch zu bewältigenden Problemen der gesteuerten Kettenreaktion formulieren zu lassen. So kann selbst bei diesem ausgesprochen technologischen Problem dem Prinzip entsprochen werden, den Schülern zu ermöglichen, sich durch selbständig entwickelte Fragestellungen den Lerngegenstand anzueignen. Damit kann ein Schritt zur Herausbildung von Selbstvertrauen eingeleitet werden, das dem Schüler auch zunächst schwierig erscheinende technisch-naturwissenschaftliche Problem zu bewältigen hilft.

Konsequenterweise wird auch hier methodisch vorgeschlagen, die Schüler in Gruppenarbeit das Wissen erarbeiten zu lassen. Da dabei Probleme unterschiedlicher Schwierigkeit behandelt werden, kann die Arbeitsdifferenzierung zwischen den Gruppen auch unterschiedlichen Leistungsvoraussetzungen gerecht werden.

Mit einem zusammenfassenden Ergebnisbogen wird die Festigung und Bereitstellung der erworbenen Kenntnisse für den weiteren Verlauf der Einheit gewährleistet. Nachdem mit dem zweiten und dritten Stundenkomplex die naturwissenschaftlich-technischen Grundkenntnisse der Kernenergie vermittelt wurden, wird mit den vierten und fünften Stundenkomplexen der Zusammenhang zu sicherheitspolitischen Fragestellungen der Kerntechnologie hergestellt.

Im Gegensatz zum ersten Stundenkomplex trifft die Schüler diese erneute Konfrontation mit der Ambivalenz der Kerntechnologie nicht mehr als ein undurchsichtiges Wirrnis energiewirtschaftlicher, sicherheitstechnischer und naturwissenschaftlicher Fragestellungen, sondern auf der Basis einer technischen Wissensgrundlage.

Mit einer Kurzwiederholung der Grunderscheinungen der Radioaktivität und ihrer Wirkung auf Materie sowie der Abschirmvorrichtungen in einem KKW kann mit der zusätzlichen Information über die Radioaktivitätsabgabe eines KKW das naturwissenschaftlich erarbeitete Wissen in einen politischen Zusammenhang gebracht werden: Es drängt sich die Frage nach Schädigung der menschlichen Gesundheit auf. Mit Auszügen aus zwei Texten (vgl. S. 158) mit entgegengesetzten Standpunkten zur Schädlichkeit niedriger radioaktiver Strahlendosen wird die Kontroverse in der öffentlichen Diskussion über die biologische Gefährdung durch Kernenergie im

Unterricht wiedergegeben. Dieses erfolgt nicht nur, um politische Authentizität zu erhalten, sondern auch, um den Schülern abzuverlangen, aus Texten mit entgegengesetzten Positionen Sachinformationen zu entnehmen.

Die anhand dieser Texte entstehende Diskussion stellt an die Sachlichkeit und an das Differenzierungsvermögen der Schüler hohe Ansprüche, da die bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse keine eindeutigen Aussagen zur Gefährlichkeit von Niedrigstaktivität zulassen, d.h. der jeweilige Standpunkt eine Vorentscheidung beinhaltet, die sachlich weder widerlegbar noch beweisbar ist und als gesellschafts-politische Grundhaltung diskussionsleitend hinsichtlich der Interpretation der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse sein wird. Neben der erhöhten Beanspruchung der sozialen Fähigkeiten, wächst die Anforderung an die kognitiven Fähigkeiten, da die Schüler die aus anderen Stunden bekannten Details zur Entwicklung schlüssiger Argumentationen verarbeiten müssen. Die Komplexität des Denkens wird dabei ebenso geschult, wie die Fähigkeit zu analytisch-synthetischen Erkenntnisprozessen.

Diese Fähigkeit wird im fünften Stundenkomplex noch weiter gefördert. Nachdem die Schüler die mögliche Gefahr eines Unfalls über eine auf reale Katastrophenplanentwürfen aufgebaute, fingierte Rundfunksendung realistisch nachvollziehen können, erwerben sie zunächst zusätzlich technisches Wissen über die Funktion von Notkühlsystemen, woran sich die Darstellung verschiedener Standpunkte zu den Unfallrisiken anschließt. Ob die Schüler dem Anspruch gerecht werden, unabhängig von ihren eigenen Positionen beide Standpunkte zu analysieren, wird sich daran messen, inwieweit die Schüler die Aussagen über den größten anzunehmenden Unfall als Konsequenz hypothetischer Annahmen über die Funktionalität des Notkühlsystems begreifen. Gelegenheit, ihre Fähigkeit zu sozial konstruktivem Engagement unter Beweis zu stellen, bietet sich für die Schüler in der letzten Phase, in der sie durch Abwägung von Wirtschaftlichkeits- und Sicherheitsfragen in einem kleinen Rollenspiel Stellung zum Problem Ansiedlung eines KKWs beziehen müssen und sich darauf in der Gruppe vorbereiten sollen.

Mit der neuen Qualität der Diskussion, die inhaltlich wieder am Ausgangspunkt anknüpft, wird der Übergang von der Entfaltungs- zur Anwendungsphase vollzogen. An dieser Stelle kann zum Ende der Diskussion vorgeschlagen werden, Referatgruppen zu bilden, die zu den angesprochenen wirtschaftlichen, sicherheitstechnischen und umweltbezogenen Aspekten qualifizierte Positionen erarbeiten, die in einer Podiumsdiskussion ausgetauscht werden sollen.

Nachdem auf nunmehr sachlich fundierter Ebene der Gesamtzusammenhang erneut diskutiert wurde und mit der Verteilung der Referate die Fortsetzung der Diskussion auf einer inhaltlich gut vorbereiteten Ebene eingeleitet ist, sollen in einem abschließenden Komplex die Folgeprobleme der Kernenergie angedeutet werden. Dabei wenden die Schüler ihr erarbeitetes Wissen für den Einstieg in weiterführende Probleme an (Radioaktivität → Entsorgung, Funktion eines KKWs → Schneller Brüter).

Mit den über das unmittelbare Problem der Energiegewinnung durch Kernspaltung hinausgehenden Fragestellungen wird den Schülern noch einmal die Komplexität

und tendenzielle Unabgeschlossenheit des Problems, das immer neue Fragen impliziert, verdeutlicht, wodurch die Motivation zur weiteren Beschäftigung mit der Kernenergie und zur Teilnahme an der sich weiter entwickelnden öffentlichen Diskussion unterstützt wird. Gerade in diesem Zusammenhang ist es bedeutsam, daß die Schüler noch einmal die Erfahrung machen, mit erworbenem Wissen eine Grundlage für die Einarbeitung in weiterführende Bereiche zu besitzen.

In der Durchführung und Vorbereitung einer Podiumsdiskussion kommt der politisch bedeutsame Lernprozeß noch einmal in seiner Gesamtheit zum Ausdruck: Inhaltliche Komplexität muß bewahrt werden; die selbständige Arbeit mit Informationsmaterial wird gefördert; der Wunsch, andere zu überzeugen, erfordert eine geschickte Argumentationsführung.

Die Erfahrung eigener Kompetenz während der Gestaltung der Podiumsdiskussion ermöglicht dem Schüler eine Einschätzung des eigenen Lernzuwachses: Die unzulängliche, weitgehend emotional ausgerichtete Einschätzung der Kernenergie zu Beginn der Unterrichtseinheit ist von einer fundierten Position abgelöst. Die Reaktionen der Mitschüler als Publikum in der Podiumsdiskussion, auf eine Ausstellung oder auf Schülerzeitungsartikel vermitteln den Schülern die Erfahrung, als politische Subjekte auf ihre Umwelt Einfluß nehmen zu können.

## **Teil IV**

### **Unterrichtseinheit Kernenergie:**

### **Ausweg aus der Energiekrise oder Sackgasse des Fortschritts?**

#### **Vorbemerkung: Hinweise zur Arbeit mit der Unterrichtseinheit**

Die sechs Themenkomplexe der folgenden Unterrichtseinheit sind inhaltlich so ausgelegt, daß sie jeweils 2–3 Unterrichtsstunden in Anspruch nehmen. Auf eine detaillierte Zeitplanung wurde verzichtet, da Arbeitshaltungen der Lerngruppe, Diskussionsverhalten der Schüler und die Vertrautheit der Lerngruppe mit der Gruppenarbeit den konkret notwendigen Zeitaufwand beeinflussen. Zudem soll die Möglichkeit offenbleiben, schwerpunktmäßig einzelne Stundenkomplexe bzw. Unterrichtsphasen auszudehnen. In gesellschaftskundlichen Fächern könnten im Bedarfsfall die Unterrichtskomplexe I, V und VI ausführlicher behandelt werden als die Themenbereiche, die sich auf die naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen beziehen.

Methodisch-didaktische Vorbemerkungen zu jedem Unterrichtskomplex geben eine didaktisch begründete Zusammenfassung des Unterrichtsgeschehens wieder. Die Einteilung der Unterrichtsziele in Intentionen und Lernziele erfolgt, um den Prozeßcharakter der Unterrichtsziele zu berücksichtigen: Während die Lernziele im wesentlichen operationalisierbare Unterrichtsziele im kognitiven Bereich darstellen, sind unter dem Abschnitt „Intentionen“ Zielsetzungen der sozialen Dimension formuliert, sowie Erziehungsabsichten, die auf die Entwicklung intellektueller Fertigkeiten abzielen.

Die einzelnen Unterrichtskomplexe sind lern- bzw. sachstrukturell in Phasen gegliedert. In der Spalte Unterrichtsgeschehen werden für jeden Unterrichtsschritt zunächst die geplanten Schüleraktivitäten (S) genannt. Die in der Nebenspalte stichwortartig festgehaltenen Teilergebnisse machen dem Lehrer eine schnelle Orientierung über die zu behandelnden Inhalte möglich.

In der Spalte Medien/Lehrerinfo findet der Lehrer Hinweise auf die beim jeweiligen Unterrichtsschritt eingesetzten Medien sowie Seitenangaben für die Sachdarstellung in Kapitel II, so daß eine schwerpunktmäßige Informationsvertiefung zu den einzelnen Teilproblemen möglich ist.

Im gleichen Verlag sind Transparente und Arbeitsblätter erschienen<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Kahlert, J.: Transparente z. Thema Kernenergie. 24 zweifarbige Folien, z. T. als Aufbautransparente, Beiheft 36 S., Weinheim 1981, Best. Nr. 99012; ders.: Arbeitsblätter z. Thema Kernenergie. 21 Kopiervorlagen, Beiheft 36 S., Weinheim 1981, Best. Nr. 99011, vergl. Anhang S. 144 ff.

## Übersicht über die Querverweise:

### *Transparente*

Die Transparente sind mit den Buchstaben Tr gekennzeichnet. Die römische Zahl hinter Tr verweist auf den Stundenkomplex, in dem das Transparent eingesetzt wird. Die arabische Numerierung hinter der römischen Ziffer gibt die Reihenfolge der Transparente für den jeweiligen Stundenkomplex an. Sofern es sich um Aufbautransparente handelt, sind die einzelnen Folien des Transparents mit kleinen Buchstaben gekennzeichnet.

Beispiel: Tr III.2a

bedeutet: Die erste Folie des Aufbautransparents Nummer 2 im dritten Stundenkomplex.

### *Arbeitsblätter*

Arbeitsblätter für die Hand des Schülers lassen sich aus den fotokopierfähigen Vorlagen, die mit dem Buchstaben A gekennzeichnet sind, erstellen. Römische Zahlen geben den Stundenkomplex an, in dem das jeweilige Arbeitsblatt eingesetzt wird; arabische Zahlen kennzeichnen die Reihenfolge des Einsatzes im einzelnen Stundenkomplex.

Beispiel: A II.2

bedeutet: Das zweite Arbeitsblatt des Stundenkomplex II.

### *Tafelbilder*

Tafelbilder sind mit den Buchstaben Tb gekennzeichnet. Römische Zahlen verweisen auf den Stundenkomplex, arabische auf die Reihenfolge ihrer Verwendung im Stundenkomplex. Sofern ein inhaltlich zusammenhängendes Tafelbild in verschiedenen Unterrichtsschritten erstellt wird, sind die Teilbilder mit kleinen Buchstaben versehen.

Beispiel: Tb III.2

bedeutet: Das Tafelbild Nummer 2 im dritten Stundenkomplex.

### *Hinweise auf Abbildungen im Anhang*

Tafelbilder, Vorlagen für fiktive Rundfunkmeldungen, verkleinerte Abbildungen der Transparente und Arbeitsblattvorlagen befinden sich im Anhang nach Stundenkomplexen geordnet. Die Kennzeichnung im Anhang erfolgt wie im Original; um ein schnelles Auffinden des jeweiligen Arbeitsmaterials zu ermöglichen, wird in der Spalte Medien/Lehrerinfo unter der Abkürzung des Arbeitsmaterials die Seitenzahl angegeben, auf der die Abbildung des Transparents, Arbeitsblattes oder Tafelbilds im Anhang dieses Buches zu finden ist.



**Hinweise auf  
Sachdarstellungen**

Um dem unterrichtenden Lehrer eine schwerpunkt-  
mäßige Vertiefung des Sachwissens zu ermöglichen,  
werden in der Spalte Medien/Lehrerinfo mit dem  
Querverweis „vgl. Kapitel II, S. 17“ Hinweise auf  
die entsprechende Sachdarstellung des zu behandeln-  
den Teilthemas gegeben.

**Übersicht über die Arbeitsmaterialien**

	Stunden- komplex I	Stunden- komplex II	Stunden- komplex III	Stunden- komplex IV	Stunden- komplex V	Stunden- komplex VI
Transpa- rente	Tr I.1	Tr II.1 a, b Tr II.2 a, b Tr II.3 a, b	Tr III.1 Tr III.2 a, b Tr III.3 a–d	Tr IV.1 a, b	Tr V.1 a–d Tr V.2 a–c	Tr VI.1
Arbeits- blätter	A I.1 A I.2 A I.3 A I.4 A I.5 A I.6	A II.1 A II.2	A III.1 A III.2 A III.3 A III.4 A III.5 A III.6	A IV.1 A IV.2 A IV.3	A V.1 A V.2	A VI.1 A VI.2
Tafelbilder	Tb I.1–3	Tb II.1 a–c Tb II.2 a–c Tb II.3 a–f Tb II.4	Tb III.1 Tb III.2	Tb IV.1–5	Tb V.1–4	Tb VI.1 a, b Tb VI.2 a, b Tb VI.3
Rundfunk- meldung	S. 147f.				S. 163f.	

**Stundenkomplex I**

**Energiepolitische Rahmenbedingungen der Kernenergie**

*1. Methodisch-didaktische Vorbemerkungen*

Mit einer fiktiven Rundfunknachricht über eine regionale Energieverknappung und der anschließenden Erörterung von möglichen Ursachen und Folgen mangelnder Energieversorgung wird bei den Schülern eine – aus der Alltagserfahrung erwachsene – Selbstverständlichkeitshaltung gegenüber der Energiebereitstellung aufgebrochen. Die mögliche Auswirkung einer Energiekrise auf die eigenen

Lebensumstände bietet die Motivationsbasis für die Schüler, sich mit den verschiedenen Dimensionen gesellschaftlicher Energieversorgung auseinanderzusetzen. Um die während der Einstiegsphase vergleichsweise spontan gesammelten Problembereiche zu systematisieren und die in der Energiewirtschaft gebräuchliche Terminologie verfügbar zu machen, erfolgt im zweiten Unterrichtsabschnitt die Erarbeitung des Zusammenhangs zwischen Energiewachstum und Wirtschaftsp produktivität.

Anhand von zwei energiewirtschaftlichen Informationen – Entwicklung des Stromverbrauchs in der BRD und Vergleich des Energieverbrauchs von Ländern mit unterschiedlicher Wirtschaftsp produktivität – sind die Schüler in der Lage, selbständig den Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch zu formulieren. Der Lehrerhinweis auf die Energieverschwendung in Ländern mit hohem Energieverbrauch beugt der Entwicklung eines deterministischen Verständnisses vom Zusammenhang beider Bereiche vor. Die Verwendung graphischer und tabellarischer Darstellungen dient der Einübung des Schülers in den Umgang mit statistischem Informationsmaterial.

Im Tafelbild werden die verschiedenen Dimensionen des Problems Energieversorgung festgehalten, so daß die Komplexität der gesellschaftlichen Energiebedarfsdeckung in überschaubare und bearbeitbare Teilbereiche gegliedert ist.

An der Leistungsfähigkeit der Lerngruppe und der Vertrautheit der Schüler mit offenen Arbeitsformen wird zu eressen sein, ob die vertiefende Informationserarbeitung in arbeitsteiliger Gruppenarbeit parallel oder in arbeitsgleicher Gruppenarbeit zeitlich nacheinander erfolgt. Die den drei Aufgabenbereichen zugrundeliegenden Informationsmaterialien geben die in der Öffentlichkeit gebräuchlichen Formen der Informationsdarstellung – populärwissenschaftlicher Text, Tabellen, Graphik – wieder.

Sofern arbeitsteilige Gruppenarbeit durchgeführt wird, haben die Schüler in der anschließenden Auswertungsphase Gelegenheit, durch eine verständliche Darbietung ihrer Informationen das eigene Lernergebnis zu festigen. Ein vorstrukturiertes Auswertungsblatt gewährleistet einen zusammenfassenden Überblick über die Einzelergebnisse.

Mit der Sensibilisierung für das Problem zukünftiger Energieversorgung ist für die Schüler die der Atomenergie zugesprochene gesellschaftliche Funktion nachvollziehbar.

Die zum Ende des Stundenkomplexes stattfindende Konfrontation der Schüler mit unterschiedlichen Stellungnahmen zur Kernenergie erfüllt zwei didaktische Zielsetzungen: einerseits werden die Schüler als Folge der in einer spontanen Diskussion festzustellenden Informationsdefizite motiviert, sich vertiefend mit den Grundlagen der Kernenergie auseinanderzusetzen; andererseits bleibt die sich im weiteren Verlauf der Unterrichtseinheit anschließende Behandlung der naturwissenschaftlichen und technischen Grundlagen der Kernenergie nicht in sachlogischen Funktionalitätsbetrachtungen stecken, da den Schülern die Kernenergie zunächst als gesellschaftlich-politisches Problem bewußt gemacht wird, zu dem sie selbst bereits Stellung bezogen haben. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für die Schüler

geschaffen, sich die naturwissenschaftlich-technologischen Grundlagen als neue Informationen zur Reflektion des bisherigen Standpunktes anzueignen, anstatt sie lediglich rezeptiv zu konsumieren.

## 2. *Intentionen*

Die Schüler sollen

- die individuelle Betroffenheit vom gesellschaftlichen Problem der Energieversorgung erfahren.
- das Problem gesellschaftlicher Energieversorgung in Teilbereiche strukturieren und die Teilbereiche anhand von Informationsmaterialien erarbeiten können.
- Informationsentnahme aus Graphiken, Statistiken und Tabellen üben.
- die Darstellung selbständig erarbeiteter Informationen für andere üben.
- erkennen, daß ihr Standpunkt zur Kernenergie durch vertiefende Informationen qualifizierter wird.

## 3. *Lernziele*

Die Schüler sollen

- das Problem der Energieversorgung in einen wirtschafts- und gesellschaftspolitischen Zusammenhang einordnen können, indem sie mögliche Ursachen und Folgen einer Energieversorgungslücke benennen.
- anhand eines Vergleichs des Elektrogerätebestands in den Privathaushalten in den Jahren 1950, 60 und 70 mit der Zuwachsrate des Stromverbrauchs die Bedeutung des elektrischen Stroms für den Alltagskomfort erkennen.
- den Zusammenhang zwischen fossilen Energieträgern und Elektrizität am Beispiel der Energieumsetzung im Wärmekraftwerk erläutern können.
- die energiepolitischen Begriffe Primärenergie, Sekundärenergie und Steinkohleeinheit anwenden können.
- die Gefährdung der zukünftigen Energieversorgung erläutern können, indem sie dem heutigen Bedarf an fossilen Energieträgern das zu erwartende Ende der Weltvorräte an Kohle und Mineralöl gegenüberstellen.

## 4. *Arbeitsmaterialien*

- fiktive Rundfunkdurchsage über Energiesparverordnungen (S. 147 f.)
- Transparente:
  - Tr I.1 Energieverbrauch und Wirtschaftsproduktivität (vgl. S. 145)
- Arbeitsblätter:
  - A I.1 Ursachen des steigenden Energieverbrauchs (vgl. S. 145)
  - A I.2 Der Bedarf an elektrischem Strom in der Bundesrepublik (vgl. S. 145)
  - A I.3 Energieverbrauch und Primärenergievorräte (vgl. S. 146)
  - A I.4 Probleme der Elektrizitätsbedarfsdeckung (vgl. S. 146)

- A I.5 Atomenergie – ein Ausweg? Meinungen der Kern-  
energiegegner (vgl. S. 146)
- A I.6 Atomenergie – ein Ausweg! Meinungen der Kern-  
energiebefürworter (vgl. S. 146)

– Tafelbilder:  
Tb I.1; Tb I.2; Tb I.3 (S. 147)

## 5. Unterrichtsplanung

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
----------------	----------------------	-------------------

<i>Phase I:</i>	Problemeinstieg: Mögliche Ursachen und Folgen einer regionalen Energieverknappung	
-----------------	---	--

Die Versorgung mit genügend Energie ist nicht selbstverständlich	<p>S hören eine fiktive Rundfunksendung über eine regional aufgetretene Energielücke.</p> <p>L bietet Nachrichtensendung als Lehrvortrag oder als Tonbandaufnahme dar.</p> <p>SS äußern sich spontan zum Gehörten und nennen dabei mögliche Ursachen und Folgen eines Zusammenbruchs der Energieversorgung.</p> <p>L fordert S ggf. auf, Vermutungen über die Ursachen einer Energieverknappung zu äußern und sich mögliche Folgen zu überlegen und fertigt Tafelbild an.</p>	<p>Text einer fiktiven Rundfunksendung (S. 147)</p> <p>Tb I.1 (S. 147)</p>
--	---	--

<i>Phase II:</i>	Problemstrukturierung: Zusammenhang von Wirtschaftswachstum, Energieverbrauch und Elektrizitätsbedarf	
------------------	---	--

Wachsender Lebensstandard hat zu einem größeren Elektrizitätsverbrauch geführt	<p>S interpretieren eine graphische Darstellung über den Elektrizitätsverbrauch in der BRD und arbeiten dabei heraus, daß der Elektrizitätsverbrauch in der BRD von 1960 bis 1975 um über 100% angestiegen ist.</p> <p>Lehrer bietet graphische Darstellung als Folie dar.</p> <p>Ggf. werden Vermutungen über die Ursachen des Anstiegs gesammelt: Produktivitätssteigerung, Verdrängung menschlicher Arbeitskraft durch Maschinen, Haushaltskomfort.</p>	<p>(vgl. Kapitel II, S. 33–41 und S. 78–84)</p> <p>Teil 1 von Tr I.1 (S. 145)</p>
Länder mit unterschiedlichem Produktionsniveau und Lebensstandard weisen Unterschiede im Energieverbrauch auf	<p>S vergleichen den pro-Kopf-Energieverbrauch in Indien, BRD, USA mit dem Welt-durchschnitt und nehmen Stellung.</p> <p>L bietet auf Transparent Information über pro-Kopf-Energieverbrauch verschiedener Regionen</p>	<p>Teil 2 von Tr I.1 (S. 145)</p>

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
Elektrizität ist eine saubere und bequeme Form der Energiekonsumtion	<p>S nennen ständige Verfügbarkeit, Sauberkeit und Bequemlichkeit als Gründe, die den elektrischen Strom zu einer günstigen Energieform machen.</p> <p>L fragt nach den Vorteilen der Elektrizität.</p>	
Strom wird durch Umwandlung anderer Energieträger in Kraftwerken erzeugt	<p>S geben an, daß der elektrische Strom aus Kraftwerken kommt und entwickeln im Unterrichtsgespräch Energieumsetzungsschema.</p> <p>L fragt nach Herkunft des Stroms und fertigt Tafelbild an.</p> <p>S nennen Primärenergieträger, mit denen Kraftwerksturbinen angetrieben werden.</p> <p>L erläutert Begriffe Sekundärenergie und Primärenergie.</p>	<p>Tb I.2 (S. 147)</p>
Steinkohleeinheit als Vergleichsgröße	Anhand einer Folie erläutert L den Begriff Steinkohleeinheit und gibt Beispiele.	<p>Teil 3 von Tr I.1 (S. 145)</p>
<i>Phase III: Vertiefung</i>		
Erarbeitung der Ursachen des wachsenden Energieverbrauchs, des Strombedarfs und des Problems der Abnahme der fossilen Energieträger	<p>S fassen Probleme der Energieversorgung zusammen.</p> <p>L fertigt Tafelbild an und kündigt Gruppenarbeit zu den einzelnen Bereichen an.</p> <p>Gruppe 1: Ursachen des Energieverbrauchs- wachstums</p> <p>Gruppe 2: Anstieg des Elektrizitätsverbrauchs</p> <p>Gruppe 3: Weltweite Abnahme fossiler Energieträgervorräte</p> <p>S bearbeiten die Arbeitsaufträge und halten ihre Ergebnisse auf Arbeitsblatt fest.</p>	<p>Tb I.3 (S. 147)</p> <p>A I.1 Teil 1 von A I.4 (S. 145 und 146)</p> <p>A I.2 Teil 2 von A I.4 (S. 145 und 146)</p> <p>A I.3 Teil 3 von A I.4 (S. 146)</p>
<i>Phase IV: Sicherung der Ergebnisse</i>		
Zusammenfassung	<p>Die Arbeitsgruppen stellen ihre Arbeitsergebnisse vor. Ergänzung des Ergebnisbogens entsprechend der Gruppenberichte.</p> <p>L bittet, die Arbeitsergebnisse auszutauschen.</p>	<p>A I.4 (S. 146)</p>

*Phase V:* Integration des Gelernten in eine weiterführende Fragestellung

Kernenergie als gesellschaftlich umstrittener Ausweg aus der Energiekrise?	S erkennen, daß langfristig neue Energiequellen erschlossen werden müssen. L-impuls: War das Hörspiel zu Beginn realistisch? Sofern noch nicht von S erwähnt, weist L darauf hin, daß mit den Argumenten einer langfristigen Energieversorgung die Kernenergie verteidigt wird. S lesen Positionen von Kernenergiegegnern und Befürwortern und ziehen einige Argumente heraus. L verteilt Arbeitsblätter und bittet S, Stellung zu nehmen. Ggf. Diskussion um die Kernenergie, bei der die S feststellen, daß sie für eine fundierte Stellungnahme sich eingehender mit dem Problem beschäftigen müssen.	A I.5 (S. 146) A I.6 (S. 146)
--	---	--

**Stundenkomplex II****Naturwissenschaftliche Grundlagen des radioaktiven Zerfalls und der Kernspaltung***1. Methodisch-didaktische Vorbemerkungen*

In diesem Unterrichtskomplex werden modellhaft die Grundlagen des Atombaus und der Radioaktivität sowie der Kernspaltung vermittelt. Die Einführung in die an das Bohrsche Atommodell angelehnte Vorstellung über den Bau der Atome ist je nach Vorkenntnissen der Lerngruppe mit unterschiedlicher Ausführlichkeit vorzunehmen. Während vorhandene Kenntnisse des Periodensystems der Elemente lediglich eine wiederholende Erarbeitung des Arbeitsblattes AII. 1 notwendig machen, bietet der methodische Weg zur Einführung einfacher Modellvorstellungen auch Lerngruppen ohne Vorkenntnisse die Möglichkeit, erforderliches Grundwissen anwendungsbezogen aufzuarbeiten. Nachdem zunächst ein Modell des Wasserstoffatoms beschrieben wird, können die neu gelernten Teilchen im nächst komplexeren Atommodell des Heliums wiederentdeckt werden. Das dritte Element Lithium trägt im Zusammenhang mit den beiden vorherigen zur Verdeutlichung des Aufbauprinzips der Elementenreihe bei. Zur Sicherung der Kenntnisse über den Atombau werden Übungsaufgaben herangezogen, bei denen die Schüler Modelle vorgegebener Atome skizzieren sollen und Berechnungen der Neutronenzahlen von

Isotopen mit vorgegebener Massenzahl und Ordnungszahl vornehmen. Die Behandlung der Isotopie ist notwendig, da die Kenntnis des Isotopenbegriffs für ein Verständnis der technisch-naturwissenschaftlichen Prozesse bei der Kernspaltung vorausgesetzt ist.

Eine enge Kombination von der Arbeit am Tafelbild mit dem Informationsträger Aufbau folie soll eine anschauliche, schrittweise Erarbeitung der atomaren Prozesse beim radioaktiven Zerfall ermöglichen. Dabei ist angestrebt, daß die Schüler ihre Kenntnisse vom Atombau für die Erarbeitung der Zerfallsprozesse anwenden: auf einer Basis folie sind jeweils der Ausgangskern und der Kern nach Abstrahlung von Radioaktivität dargestellt. Die Schüler können so aus dem Vergleich von Massenzahl und Protonenzahl die Veränderungen formulieren, die systematisiert nach der jeweiligen Zerfallsart an der Tafel festgehalten werden. Zur visuellen Unterstützung des Lernergebnisses wird nach der Formulierung der Kernveränderungen durch die Schüler die jeweils entsprechende Ergänzung zur Basis folie projiziert.

Auch das Wissen über die Wirkung der Radioaktivität auf Materie läßt sich nach einer geringen Informationsvorgabe über die Ionisierungswirkung im wesentlichen durch schlußfolgernde Anwendung vorhandenen Wissens vermitteln. Den Schülern wird die Aufgabe gestellt, aus einem Vergleich der Teilchengrößen der Strahlungsarten die jeweilige Eindringfähigkeit in Materie zu bestimmen.

Anhand eines Transparentes mit einer Skizze der Kernspaltung beschreiben die Schüler den Vorgang und stellen fest, daß mit den entstehenden Neutronen weitere Kernspaltungen möglich sind. In diesem Zusammenhang wird der Begriff Kettenreaktion erläutert.

Um eine anschauliche Vorstellung von der Größe der bei der Kernspaltung freiwerdenden Energiemengen zu erreichen, wird auf die Nennung der in Elektronenvolt zu messenden Energiegröße bei der Spaltung eines Kerns verzichtet, zugunsten des Vergleichs der Energiemenge, die bei der vollständigen Spaltung von 1 kg Uran entsteht, mit der erforderlichen Steinkohlenmenge zu Freisetzung der gleichen Energie.

Ein abschließender Vergleich der Kernprozesse bei der Kernspaltung und bei der radioaktiven Strahlung dient der anwendungsbezogenen Festigung des Wissens über die atomaren Vorgänge.

## *2. Intentionen*

Die Schüler sollen

- modellhafte Vorstellungen über den Bau von Atomen nachvollziehen können.
- Modelle als Konstruktionen zum Veranschaulichen von Naturvorgängen verstehen.
- mit Kenntnissen über die atomaren Vorgänge bei radioaktiven Strahlen die Grundlagen der Bewertung ihrer Gesundheitsschädlichkeit erwerben.

### 3. Lernziele

Die Schüler sollen

- in Anlehnung an das Bohrsche Atommodell die Atomteilchen Neutron, Elektron, Proton für die Elemente Kohlenstoff und Chlor aufzeichnen können.
- aus der Differenz zwischen Massenzahl und Ordnungszahl die Zahl der Neutronen eines Elements bestimmen können.
- die radioaktive Strahlung in ihrer Erscheinung als  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Zerfall des Radionuklids als eine jeweils spezifische Veränderung der Atomkerne erklären können und dieses durch die Angabe der Zerfallsart für die ersten vier Glieder der Neptuniumzerfallsreihe nachweisen, wenn die jeweiligen Massenzahlen und Ladungszahlen der ersten fünf Radionuklide gegeben sind.
- die unterschiedliche Wirkung radioaktiver Strahlung auf Materie vergleichen können, indem sie in einer vorgegebenen Modellskizze Strahlungsarten richtig bezeichnen.
- die Kernspaltung als ein durch Außeneinwirkung auf den Atomkern verursachten Prozeß dem nicht beeinflussbaren radioaktiven Zerfall gegenüberstellen und dabei mindestens zwei Unterschiede zwischen den beiden Kernumwandlungsprozessen benennen können.
- die Bedeutung des Vermehrungsfaktors  $K$  für das Zustandekommen und den Verlauf einer Kettenreaktion beschreiben und für drei verschiedene schematisch skizzierte Reaktionsabläufe angeben können, ob  $K > 1$ ,  $K < 1$ ,  $K = 1$  gilt.

### 4. Arbeitsmaterialien

– Transparente:

Tr II.1 a, b	Der radioaktive Zerfall	(vgl. S. 149)
Tr II.2 a, b	Ionisation eines Atoms durch $\alpha$ -Strahlung	(vgl. S. 149)
Tr II.3 a, b	Atomkernspaltung von U 235	(vgl. S. 149)

– Arbeitsblätter:

A II.1	Aufbau von Atomen	(vgl. S. 150)
A II.2	Atomkernumwandlungen	(vgl. S. 150)

– Tafelbilder:

Tb II.1 a–c; Tb II.2 a–c; Tb II.3 a–f; Tb II.4	(S. 150–153)
--	--------------



## 5. Unterrichtsplanung

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
----------------	----------------------	-------------------

### Phase I: Einführung des Themenkomplexes

Aus der Wiederholung des Begründungszusammenhangs für die Nutzung der Kernenergie wird die Frage nach den atomaren Vorgängen bei der Kernspaltung abgeleitet und als Thema an der Tafel festgehalten.	Tb II.3a (S. 152)
---	----------------------

### Phase II: Informationsgrundlage: Modellvorstellungen über den Aufbau von Atomen

Modell eines Wasserstoffatoms.	Schüler beschreiben den Aufbau eines Wasserstoffatoms.	(vgl. Kapitel II. S. 41–44)
Begriffe: Massenzahl, Ladungszahl, Elektron, Proton, Atomkern, Atomhülle.	L stellt mit Hilfe eines Tafelbildes ein Wasserstoffatom dar und nennt Namen der Bauteile.	Tb II.1 a (S. 150)
Modell von Helium und Lithium.	Schüler beschreiben die Veränderungen bei Helium und Lithiumatomen gegenüber Wasserstoff.	
Begriff: Neutron	L ergänzt Tafelbild mit Darstellung von Helium und Lithium. Erläuterung des Begriffs Neutron. S formulieren, daß in einem Atom die Zahl der Protonen und Elektronen gleich sein muß. L fragt, was über die Anzahl von Protonen und Elektronen zu vermuten ist, angesichts der Neutralität eines Atoms nach außen. S zeichnen die Modelle von Kohlenstoff und Chlor. L nennt Zahl der Protonen, Neutronen von Chlor und Kohlenstoff und gibt Information über die begrenzte Aufnahmefähigkeit der Elektronenschalen.	Tb II.1 b, c (S. 150)

Isotope	Schüler beschreiben unterschiedliche Isotope des Wasserstoffs und Kohlenstoffs und halten Unterschiede in der Massenzahl bei gleicher Protonenzahl als Erkennungsmerkmal fest. L stellt Modell von Wasserstoff- und Kohlenstoffisotopen dar und nennt Begriff Isotop. S bearbeiten Arbeitsblatt, auf dem sie die Anzahl der Protonen und Neutronen verschiedener Isotope bestimmen.	Tb II.2 a–c (S. 151) A II.1 (S. 150)
---------	---	---

**Phase III:** Erarbeitungsphase: Radioaktiver Zerfall als spontane Atomkernänderung

	<p><i>S</i> äußern ihr Wissen über Radioaktivität.</p> <p><i>L</i> bittet <i>S</i> aufzuzählen, was ihnen zur Radioaktivität einfällt.</p>	(vgl. Kapitel II, S. 45–47)
$\alpha$ -Zerfall	<p><i>S</i> beschreiben die Veränderung eines Atomkerns beim <math>\alpha</math>-Zerfall.</p> <p><i>L</i> legt Arbeitstransparent auf und fragt nach Veränderungen im Atomkern. <math>\beta</math>- und <math>\gamma</math>-Zerfall bleiben abgedeckt.</p> <p>Festhalten des Ergebnisses im Tafelbild.</p>	<p>Teil 1 von Tr II.1 a, b (S. 149)</p> <p>Tb II.3 b (S. 152)</p>
$\beta$ -Zerfall	<p>Schüler nennen die Veränderungen beim <math>\beta</math>-Zerfall von Kalium zu Calcium.</p> <p><i>L</i> legt entsprechendes Transparent auf und ergänzt Tafelbild.</p>	<p>Teil 2 von Tr II.1 a, b (S. 149)</p> <p>Tb II.3 c (S. 152)</p>
$\gamma$ -Zerfall	<p><i>L</i> gibt Information zur Folie mit <math>\gamma</math>-Zerfall: es werden nur elektromagnetische Wellen ausgesendet.</p>	<p>Teil 3 von Tr II.1 a, b (S. 149)</p> <p>Tb II.3 d (S. 152)</p>
Halbwertszeit, Zerfallsreihe	<p><i>L</i> nennt Begriffe Halbwertszeit und Zerfallsreihe und gibt Beispiele.</p> <p><i>S</i> erhalten auf einem Arbeitsblatt die ersten Glieder der Pu-Zerfallsreihe und geben an, welche Strahlung jeweils abgegeben wird.</p> <p><i>L</i> verteilt Arbeitsblatt und weist auf die Information am Tafelbild hin.</p>	Teil 1 von A II.2 (S. 150)
Wirkung der radioaktiven Strahlung auf Materie/ Ionenbildung	<p>Anhand einer Darstellung eines Zusammenstoßes von einem <math>\alpha</math>-Teil mit einem Kohlenstoffatom stellen die <i>S</i> fest, daß ein Elektron herausgeschlagen wird und vermuten, daß das Restatom elektrisch positiv sein muß.</p> <p><i>L</i> führt Begriff Ion ein.</p>	<p>Tr II.2 a, b (S. 149)</p> <p>(vgl. Kapitel II, S. 45 f.)</p>
Durchdringungsfähigkeit von Strahlung durch Materie	<p><i>S</i> stellen Vermutungen über die Eindringtiefe und Zerstörungswirkung der Strahlenarten an.</p> <p><i>L</i> gibt Impuls: Vergleicht die Teilchengröße der einzelnen Strahlungen.</p> <p><i>L</i> hält Ergebnisse an der Tafel fest.</p>	Tb II.3 e (S. 152)

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
Abschirmungsmöglichkeit von Strahlung	<p>S stellen unterschiedliche Abschirmmöglichkeiten fest.</p> <p>L fragt, ob man die Strahlung verschieden abschirmen muß und hält Ergebnis an der Tafel fest.</p> <p>Auf einem Arbeitsblatt, das modellhaft die Durchdringung von Materie durch Strahlung darstellt, geben die S an, um welche Strahlungsart es sich jeweils handelt.</p> <p>L verteilt Arbeitsauftrag.</p>	<p>Tb II.3 f (S. 152)</p> <p>Teil 2 von A II.2 (S. 150)</p>
<i>Phase IV: Vertiefung: Spaltung von Atomkernen als äußerlich beeinflussbare Atomkernänderung</i>		
Kernspaltung	S beschreiben einen Spaltungsvorgang und geben an, daß bei der Spaltung neue Neutronen frei werden, die wiederum Kerne spalten können.	(vgl. Kapitel II, S. 47–49)
Kettenreaktion/ Vermehrungsfaktor	<p>L bietet Transparent mit Skizze einer Atomkernspaltung und einer schematischen Darstellung einer Kettenreaktion dar.</p> <p>Erläuterung des Begriffs Vermehrungsfaktor.</p> <p>Hinweis, daß bei einer vollständigen Spaltung von 1 kg Uran soviel Energie frei wird, wie bei der Verbrennung von 2,5 Mio kg Steinkohle.</p> <p>S geben auf einem Arbeitsblatt die Vermehrungsfaktoren zu verschiedenen Kettenreaktionen an.</p>	<p>Tr II.3 a, b (S. 149)</p> <p>Teil 3 von A II.2 (S. 150)</p>
kritische Masse	<p>S vermuten, daß Neutronen, die nicht auf Atomkerne treffen, das Material verlassen.</p> <p>L fragt nach Neutronen, die nicht spalten und erläutert Prinzip der kritischen Masse.</p>	
<i>Phase V: Systematisierung und Festigung: Vergleich von Kernspaltung und radioaktivem Zerfall</i>		
	<p>S vergleichen Tafelbild zum radioaktiven Zerfall mit Skizze zur Kernspaltung und nennen Unterschiede.</p> <p>L hält Unterschiede im Tafelbild fest.</p>	Tb II.4 (S. 153)

# Stundenkomplex III

## Technische Grundlagen der kontrollierten Kettenreaktion

### 1. Methodisch-didaktische Vorbemerkungen

Die Darstellung des Funktionsprinzips einer Atombombe und die dabei erfolgende Wiederholung der Begriffe Kettenreaktion, kritische Masse, Vermehrungsfaktor motiviert bei den Schülern die Frage nach der technischen Realisierbarkeit einer kontrollierten Kettenreaktion. Zugleich trägt der Vergleich zum Abbau assoziativer Verbindungen von Atombombenexplosionen mit Unfallrisiken eines Kernkraftwerks bei.

Mit der sich sachlogisch anbietenden Aufteilung in die drei Problembereiche „Steuerung der Kettenreaktion“, „Sicherheitseinrichtungen gegen radioaktive Strahlung“ und „Energieumwandlung“ ergibt sich wiederum die Möglichkeit, den Stoff in arbeitsteiliger Gruppenarbeit aufzubereiten. Anhand verbaler und bildlicher Darstellungen entnehmen die Schüler selbständig die für die Lösung der Aufgaben nötigen Informationen. Bei der Einteilung der Arbeitsgruppen ist vom Lehrer der unterschiedliche Schwierigkeitsgrad der drei Aufgabenstellungen zu beachten. Allen Aufgaben ist gemeinsam, daß ihre Lösungen das verstehende Lesen eines naturwissenschaftlichen Textes erforderlich machen. Da in der technologisierten Gesellschaft die Fähigkeit zur Informationsentnahme aus naturwissenschaftlichen Sachdarstellungen für die politisch-gesellschaftliche Orientierung des Individuums bedeutsam ist, wird hier auf eine sachbuchartige Form der Informationsvermittlung zurückgegriffen. Während die Problembereiche „Sicherheitseinrichtungen gegen radioaktive Strahlung“ und „Energieumwandlung“ die Auseinandersetzung mit anschaulichen Prozessen und Gegenständen ermöglicht, verlangt die Bearbeitung des Themas „Steuerung der Kettenreaktion“ eine Abstraktion in Modellvorstellungen. Ergänzend zu den einzelnen Informationsblättern verdeutlichen die aufgabenspezifisch konzipierten Folien die Sachdarstellungen.

Als Alternative zur Gruppenarbeit ist eine lehrergeleitete Erarbeitung der technischen Funktionen im Unterrichtsgespräch möglich, bei der die Folien als visuelle Impulse die Schüler zur Beschreibung der Funktionsabläufe motivieren.

Im Anschluß an den Austausch der Arbeitsergebnisse wenden die Schüler ihr neu erworbenes Wissen über die Funktionsteile eines Reaktors an, indem sie in einem Kernkraftwerksschema einzelne Teile benennen. Mit der Angabe einiger technischer Daten erhalten sie eine Vorstellung von der realen Dimension der Technologie eines KKW.

### 2. Intentionen

Die Schüler sollen

- assoziative Verknüpfungen zwischen Atomkraftwerk und Atombombe abbauen.
- Funktion und Aufbau eines Kernkraftwerkes in den Grundzügen kennenlernen.
- technisch-naturwissenschaftliche Grundlagen für die Einschätzung des Risikos eines Atomkraftwerks erwerben.

- aus sachorientierten Texten Informationen entnehmen können.
- Orientierungsmöglichkeiten gegenüber komplexen naturwissenschaftlich-technischen Funktionszusammenhängen erfahren.

### 3. Lernziele

Die Schüler sollen

- beim Vergleich der Energiefreisetzung im Atomkraftwerk und in der Atombombe die Gegensätze: gesteuerte – ungesteuerte Kettenreaktion, schrittweise – explosionsartige Energiefreisetzung und Zurückhaltung der radioaktiven Spaltprodukte – Freisetzung der Spaltprodukte nennen können.
- die technische Lösung zur Kontrolle der Kettenreaktion im Siedewasserreaktor erklären können, indem sie in einer Skizze eines Siedewasserreaktors die Bauteile Steuerstab, Moderator, Brennelement richtig bezeichnen und bei der Beschreibung der Funktionen von Steuerstab und Moderator, deren unterschiedliche Fähigkeit, Neutronen einzufangen bzw. zu verlangsamen erwähnen.
- durch die Beschreibung der Energieumwandlungskette in einem Atomreaktor die Erkenntnis nachweisen, daß Energie nicht erzeugt werden kann, sondern nur durch Umwandlung in verschiedene Formen gebracht wird.
- fünf Schutzvorrichtungen gegen das Austreten von Radioaktivität aus einem Kernkraftwerk nennen können.

### 4. Arbeitsmaterialien

- Transparente:
 

Tr III.1	Sicherheitsbarrieren gegen radioaktive Spaltprodukte und radioaktive Strahlung	(vgl. S. 154)
Tr III. 2a, b	Funktionsschema für die Steuerung der Kernspaltung	(vgl. S. 154)
Tr III.3a–d	Schema der Energieumsetzung im Kernkraftwerk	(vgl. S. 154)
- Arbeitsblätter:
 

A III.1	Funktionsprinzip einer Kernspaltbombe	(vgl. S. 155)
A III.2	Steuerung der Kettenreaktion im Kernkraftwerk	(vgl. S. 155)
A III.3	Sicherheitsbarrieren gegen radioaktive Spaltprodukte und radioaktive Strahlen	(vgl. S. 155)
A III.4	Energieumsetzung im Kernkraftwerk	(vgl. S. 155)
A III.5	Naturwissenschaftlich-technische Grundlagen der kontrollierten Kettenreaktion im Kernkraftwerk	(vgl. S. 156)
A III.6	Funktionsschema eines Kernkraftwerks	(vgl. S. 156)
- Tafelbilder:
 

Tb III.1; Tb III.2	(S. 156)
--------------------	----------

## 5. Unterrichtsplanung

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
<i>Phase I:</i> Problemeinführung: eine unkontrollierte Kettenreaktion wirkt zerstörerisch		
Funktionsprinzip einer Atombombe	<p>S beschreiben Funktionsschema einer Atombombe und wiederholen dabei die Begriffe Kettenreaktion, kritische Masse und Kernspaltung.</p> <p>L verteilt Arbeitsblatt mit Funktionsskizze einer Kernspaltbombe.</p>	<p>(vgl. Kapitel II, S. 68)</p> <p>A III.1 (S. 155)</p>
<i>Phase II:</i> Strukturierung: Vergleich der Kernspaltung in der A-Bombe und im Kernkraftwerk		
Unterschiede zwischen Atombombe und Reaktor	<p>S nennen Nutzung der Energie als elektrischen Strom, Rückhaltung der radioaktiven Spaltprodukte und gesteuerte Freisetzung von Energie im Reaktor als Gegensätze zur Bombe, bei der die Energie als Mittel der Zerstörung eingesetzt wird, die Spaltprodukte freigesetzt werden und die Energieabgabe plötzlich und unkontrolliert erfolgt.</p> <p>L bittet S, die Zielsetzungen von Bombe und KKW zu vergleichen und funktionale Unterschiede zu benennen. Evtl. Hinweis auf Vermehrungsfaktor K bei der Bombe (<math>&gt; 1</math>), beim Reaktor (<math>= 1</math>).</p> <p>Festhalten der Unterschiede im Tafelbild.</p>	Tb III.1 (S. 156)
Technische Probleme der kontrollierten Kettenreaktion	<p>S formulieren als technische Probleme der kontrollierten Kettenreaktion Energieumwandlung von Spaltungsenergie zum Strom, Rückhaltung der Strahlung, Steuerung der Kettenreaktion.</p> <p>L gibt ggf. Impuls: vergleicht die Energieform, die vom Reaktor abgegeben wird, mit der, die zu Beginn vorliegt.</p> <p>Die genannten technischen Probleme werden an der Tafel fixiert.</p>	Tb III.2 (S. 156)
<i>Phase III:</i> Erarbeitung des Funktionsschemas eines Kernkraftwerks <sup>9</sup>		
	<p>Einteilung der Gruppenarbeit nach den an der Tafel festgehaltenen Themen. L weist auf verschiedene Schwierigkeitsgrade hin.</p>	(vgl. Kapitel II, S. 50–53)

<sup>9</sup> Aufgrund der Komplexität des Themas „Steuerung der Kettenreaktion“ wird neben der Gruppenarbeit die Alternative des lehrergeleiteten Unterrichtsgesprächs ausgeführt, das sich methodisch für weniger leistungsfähige Lerngruppen anbietet.

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
Abschirmmaßnahmen gegen den Austritt von Strahlung	Gruppe I – Radioaktivitätsabschirmung: S erarbeiten aus einem Arbeitsblatt über die Rückhaltevorrückungen für radioaktive Strahlung die Abschirmbauteile eines KKWs. Zur Unterstützung kann Transparent über Abschirmmaßnahmen verteilt werden.	A III.3 (S. 155) Tr III.1 (S. 154) Teil 2 von A III.5 (S. 156)
Aufbau des Reaktorkerns	Gruppe II – Steuerung der Kettenreaktion: S erarbeiten aus einem Info-Text die Grundlagen für die Steuerung und die entsprechenden Bauteile des Reaktors. Bearbeitung des Ergebnisbogens. Zur Unterstützung kann entsprechendes Transparent an die Gruppe gegeben werden.	A III.2 (S. 155) Tr III.2 a, b (S. 154) Teil 1 von A III.5 (S. 156)
Energieumsetzung im Kraftwerk	Gruppe III – Energieumsetzung S erarbeiten aus einem Infotext und unterstützt von einer Folie die Phasen der Energieumsetzung im Kernkraftwerk. Bearbeitung des Ergebnisbogens.	A III.4 (S. 155) Tr III.3 a–d (S. 154) Teil 3 von A III.5 (S. 156)
Verhalten von Neutronen beim Zusammenstoß mit Atomkernen	<i>Alternative</i> S beschreiben unterschiedliches Verhalten von Neutronen beim Zusammenstoß mit Uranisotopen und formulieren Probleme, daß die Neutronen schnell genug abgebremst werden müssen.	
Moderator	L verteilt Arbeitsblatt mit Skizze der Vorgänge beim Zusammenstoß von Neutronen mit Uranisotopen und erläutert Funktion des Moderators (Neutronenbremser)	A III.2 (S. 155)
Brennelemente	S erkennen, daß Uran nicht als Block eingelagert werden kann. L gibt Information, daß in einem Atomkraftwerk etwa 150 t Uran (3 % U 235) eingelagert sind und gibt Information über den Aufbau der Brennstäbe und der Einlagerung des Urans in Form von pellets	
Steuerstäbe	S vermuten, daß es zur Steuerung der Kettenreaktion eine Vorrichtung geben muß, die überschüssige Neutronen wegfängt. L weist auf wachsende Zahl von Neutronen und die Möglichkeit einer Kettenreaktion hin, und erläutert Funktion der Steuerstäbe anhand eines Transparents.	Tr III.2 a, b (S. 154)

*Phase IV:* Sicherung der Ergebnisse

Sofern in arbeitsteiliger Gruppenarbeit gearbeitet wurde, stellt jede Gruppe ihre Ergebnisse dar.	A III.5 (S. 156) Tr III.1 (S. 154) Tr III.2 a, b
Ein S der Gruppe erläutert die Informationen mit Hilfe der vorher kennengelernten Folie. Ergänzung des Ergebnisbogens.	(S. 154) Tr III.3 a–d (S. 154)

*Phase V:* Anwendung und Festigung

Funktionsschema eines Atomkraftwerks	Auf einer Funktionsskizze eines Siedewasserreaktors beschreiben die S unter Verwendung der gelernten Fachausdrücke die einzelnen Bauteile.	
	L verteilt Arbeitsblatt mit Funktionsskizze eines Siedewasserreaktors.	A III.6 (S. 156)

## Stundenkomplex IV

### Die radiologische Aktivität eines Kernkraftwerks

#### 1. Methodisch-didaktische Vorbemerkungen

Mit der Eingangsfrage nach der Wahrscheinlichkeit von Radioaktivitätsabgaben eines Kernkraftwerks bei Normalbetrieb wird eine Wiederholung der Abschirmvorrichtung eingeleitet. Die Frage nach Verbindungswegen des Kernkraftwerks mit der Außenwelt lenkt die Schüler auf die Abluft- und Abwasserabgaben des Kernkraftwerks und motiviert die Frage, ob auf diesen Wegen Radioaktivität abgegeben wird, die körperliche Schädigungen hervorruft.

Um dieses Problem beurteilen zu können, müssen die Schüler die Wirkung von Radioaktivität auf den Körper kennenlernen sowie über die Strahlenbelastung durch natürliche Strahlung orientiert sein. Daher wird in der zweiten Phase, anknüpfend an das Wissen der Schüler über die Wirkungsweise der Strahlen auf Materie, die Eindringfähigkeit verschiedener Strahlungsarten in den Körper und ihre unterschiedliche Ionisationswirkung auf die Körperzellen behandelt. Im Zusammenhang mit der unterschiedlichen biologischen Wirksamkeit der Strahlungsarten kann die Vergleichsgröße „rem“ plausibel gemacht werden.

Mit den Informationen über die körperlichen Schäden durch radioaktive Strahlung ist die Grundlage zur Auseinandersetzung mit dem Problem der biologischen Schädlichkeit von Niedrigstaktivitäten gelegt. Eine Diskussion im Zusammenhang



mit der Auswertung von Stellungnahmen der Kernenergiebetreiber und Kernenergiegegner legt die Motivationsgrundlage zum Vergleich natürlicher Strahlenbelastungen mit den Belastungen, die von den strahlenden Isotopen des Kraftwerks ausgehen. Dabei werden als wesentliche Unterschiede zwischen natürlicher Umweltstrahlung und Kernkraftaktivitäten der Materiecharakter und damit verbunden die Speichermöglichkeit der Isotope im Körper und die Anreicherungs-möglichkeit in Nahrungsketten hervorgehoben.

In einer abschließenden Diskussion, die auch als Rollenspiel bzw. pro-und-contra-Diskussion durchgeführt werden kann, wird an die Schüler die Anforderung gestellt, ihr Wissen in einen sachlichen Argumentationszusammenhang zu integrieren, obwohl sie zuvor feststellen mußten, daß absolut sichere Aussagen über die Wirksamkeit niedrig strahlender Materie nicht möglich sind, und die Entscheidung für oder gegen Kernenergie in erster Linie von einer gesellschaftlich-politisch zu beurteilenden Risikobereitschaft abhängt.

## *2. Intentionen*

Die Schüler sollen

- Positionen der Kernenergiebefürworter und -gegner zur Schadenswirkung der Radioaktivität bei Normalbetrieb verstehen können.
- die unterschiedliche Einschätzung der Schädlichkeit niedrig strahlender Materie als entscheidenden Streitpunkt erkennen.
- erkennen, daß wissenschaftlich gesicherte Aussagen über die Wirkung niedrig strahlender Materie nicht möglich sind.
- die Position zur biologischen Schädlichkeit eines KKWs bei Normalbetrieb als Ausdruck gesellschaftlicher Risikoabwägungen verstehen.
- ihr Sachwissen in eine Diskussion über die Gefährdung der Umwelt durch Kernkraftwerke im Normalbetrieb einbringen.

## *3. Lernziele*

Die Schüler sollen

- die Abgabe radiologischer Aktivität eines Kernkraftwerks an die Umwelt erläutern, indem sie den Weg radioaktiver Isotope über den Wasser- bzw. Entlüftungskreislauf beschreiben.
- die biologischen Schäden radioaktiver Strahlung nach somatischen und genetischen Schäden unterscheiden können.
- für die alltägliche Strahlenbelastung die terrestrische Strahlung, die kosmische Strahlung und die kulturell bedingte Strahlenbelastung angeben können.
- die Ablagerung von radioaktivem Jod und Strontium im Körper mit der chemischen Verwandtschaft zum nicht-aktiven Jod bzw. zum Calcium begründen können.
- den Anreicherungspfad von radioaktivem Jod in der Nahrungskette Gras–Kuh–Milch–Mensch beschreiben können.

#### 4. Arbeitsmaterialien

- Transparente:  
Tr IV.1 a, b Aufnahme radioaktiver Teilchen in den Körper (vgl. S. 157)
- Arbeitsblätter:  
A IV.1 Radioaktivitätsabgabe bei Normalbetrieb (vgl. S. 157)  
A IV.2 Wirkung radioaktiver Strahlung auf den Menschen (vgl. S. 157)  
A IV.3 Die Radioaktivität eines Atomkraftwerks – eine Gefahr? Zwei Meinungen (vgl. S. 158)
- Tafelbilder:  
Tb IV.1; Tb IV.2; Tb IV.3; Tb IV.4; Tb IV.5 (S. 159f.)

#### 5. Unterrichtsplanung

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
----------------	----------------------	-------------------

<i>Phase I:</i>	Problemeinführung: Radioaktivitätsabgabe eines Kernkraftwerkes bei Normalbetrieb	
-----------------	--	--

	<i>S</i> wiederholen die Abschirmvorrichtungen eines KKWs und geben an, daß Radioaktivität in Form von Strahlung und als Spaltprodukte vorliegt.	(vgl. Kapitel II, S. 55–57)
--	--	-----------------------------

	<i>L</i> bittet um Wiederholung der Abschirmmaßnahmen im KKW. Tafelbild.	Tb IV.1 (S. 159)
--	--	------------------

	<i>S</i> geben an, daß Spaltstoffe in der Brennstabhülle verbleiben und die Strahlung von den Betonwänden abgehalten wird.	
--	--	--

Über Abluft und Abwasser gelangt	<i>L</i> fordert <i>S</i> auf, die Abschirmvorrichtungen zu nennen, die die unterschiedlichen Radioaktivitätsformen zurückhalten.	
----------------------------------	---	--

Radioaktivität aus einem KKW an die Umwelt	<i>S</i> nennen Entlüftung und Abwasser als Außenweltkontakte des KKW.	
--	--	--

	<i>L</i> fragt, ob Kraftwerksinnere Kontakte mit Umwelt hat. Gibt Information, daß gasförmige Spaltprodukte durch Hülle der Brennelemente diffundieren, erläutert Herkunft von Abluft und Abwasser und verteilt Arbeitsblatt.	
--	---	--

	<i>S</i> bearbeiten Arbeitsblatt.	A IV.1 (S. 157)
--	-----------------------------------	-----------------

<i>Phase II:</i>	Information: Wirkung radioaktiver Strahlung auf den Körper	
------------------	--	--

Eindringung von Strahlung in den Körper	<i>S</i> vergleichen wiederholend die Wirkung der $\alpha$ -, $\beta$ - und $\gamma$ -Strahlung auf den Körper und stellen Vermutungen über die äußere Eindringfähigkeit der Strahlung in den Körper an.	(vgl. Kapitel II, S. 45–59)
---	--	-----------------------------

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
Strahlen- dosimetrie: rem	<i>L</i> korrigiert ggf. Vermutungen und hält sie im Tafelbild fest. Erläuterung der Einheit rem.	Tb IV.2 (S. 159)
Schädigung des Körpers durch Strahlung	<p><i>S</i> vermuten, daß die Ionisierung von Molekülen der Körperzellen deren Absterben bzw. Funktionsstörung bewirken kann und entwickeln im lehrergeleiteten Unterrichtsgespräch Schadenfolgekette vom Zellschaden zum Organismus.</p> <p><i>L</i> gibt Impuls: Wirkung der Strahlung auf lebende Materie ist ähnlich wie bei unbelebter Materie.</p> <p><i>L</i> fertigt Tafelbild an.</p> <p><i>S</i> geben auf Arbeitsblatt Eindring-Tiefe der verschiedenen Strahlen in den Körper an.</p> <p><i>S</i> entnehmen aus Teil 2 des Arbeitsblatts die biologische Wirkung verschiedener Strahlendosen und vergleichen Angaben über die Strahlenschäden mit dem zuvor erstellten Tafelbild.</p>	<p>Tb IV.3 (S. 159)</p> <p>Teil 1 von A IV.2 (S. 157)</p> <p>Teil 2 von A IV.2 (S. 157)</p>
<i>Phase III:</i> Strukturierung: Radioaktivitätsabgabe eines Kernkraftwerks – Schädigung für die menschliche Gesundheit?		
Schädigung durch Niedrigstaktivität?	<p><i>S</i> stellen anhand der Information über die Schadenswirkung bestimmter Strahlendosen fest, daß für Krebsauslösung keine Dosis angegeben wird.</p> <p><i>L</i> fragt nach dem Dosiswert für Krebs.</p> <p><i>S</i> formulieren Problem, ob geringe Aktivitäten – wie sie vom KKW abgegeben werden – krebserzeugend sein können. Zunächst spontane Kurzdiskussion.</p> <p><i>S</i> entnehmen aus einem Text, daß auch Kernenergiebefürworter von einem erhöhten Krebsrisiko bei Anwendung der Kernenergie ausgehen.</p>	<p>(vgl. Kapitel II, S. 57–63)</p> <p>Teil 3 von A IV.2 (S. 157)</p>
Argumente von Gegnern und Befürwortern	<p>Aus je einem Text von Kernenergiegegnern und Befürwortern schreiben die Schüler die drei wichtigsten Argumente zur Schädlichkeit radioaktiver Belastung durch Kernkraftwerke heraus.</p> <p>Sammlen der Ergebnisse an der Tafel.</p>	<p>A IV.3 (S. 158)</p> <p>Tb IV.4 (S. 160)</p>

*Phase IV:* Vertiefung: Vergleich von Kernkraftwerksaktivitäten mit Umweltstrahlung

Komponenten der Umweltradioaktivität	<p>S stellen Vermutungen über Ursachen der Umweltradioaktivität auf.</p> <p>L ergänzt ggf. und gibt Impulse: Weltraum, Medizin, radioaktiver Zerfall.</p>	(vgl. Kapitel II, S. 59)
Vergleich von Kraftwerksaktivität und Umweltstrahlung	<p>S nennen Materiecharakter der radioaktiven Strahlung eines KKW als Hauptunterschied zu der natürlichen Umweltstrahlung und vermuten, daß radioaktive Teilchen in den Körper gelangen können.</p> <p>L fordert S auf, Umweltstrahlung und Spaltprodukte zu vergleichen und erinnert ggf. an Atmung und Nahrungsaufnahme.</p>	
Ablagerung von Radioisotopen im Körper	<p>S vermuten, daß radioaktives Jod 129 ebenso wie das stabile Jod 127 und Strontium ebenso wie Calcium in den Körper eingelagert werden kann.</p> <p>L gibt Hinweis, daß Jod 129 die gleichen chemischen Eigenschaften hat wie das in der Schilddrüse eingelagerte Jod 127, und Strontium dem Calcium ähnelt, das zum Knochenbau dient.</p> <p>Auf einem Transparent wird die Ablagerung der Spaltprodukte im Körper dargestellt.</p> <p>S vermuten, daß radioaktives Jod über Nahrungskette zum Menschen gelangt.</p> <p>L gibt Impuls: Jod setzt sich im Gras ab.</p>	<p>(vgl. Kapitel II, S. 61–63)</p> <p>Tr IV.1 a, b (S. 157)</p>
Anreicherung von Radioaktivität in Nahrungsketten	L stellt im Tafelbild Anreicherungspfad für radioaktives Jod dar und nennt Beispiele für andere Anreicherungspfade.	Tb IV.5 (S. 160)
verschiedene Komponenten der Strahlenbelastung durch ein KKW	<p>S fassen die verschiedenen Einwirkungsmöglichkeiten der Strahlung auf den Menschen zusammen: direkte Wirkung von außen, Aufnahme in den Körper durch Nahrung und Atmung, Anreicherung in Nahrungsketten.</p> <p>L fordert S auf, verschiedene Möglichkeiten der Strahleneinwirkung zusammenzufassen.</p>	(vgl. Kapitel II, S. 59–63)

*Phase V:* Sicherung und Anwendung: Diskussion über Gefahren der Niedrigstaktivität

S nehmen unter Anwendung der erworbenen Information zu zwei Argumenten der Gegner und Befürworter schriftlich Stellung.

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
	<p><i>L</i> fordert <i>S</i> auf, kurze Stellungnahmen zu den Argumenten der Gegner und Befürworter zu erarbeiten.</p> <p><i>S</i> verlesen ihre Positionen und diskutieren.</p> <p>Evt. Organisation als pro-und-contra-Diskussion.</p>	Hinweis auf A IV.3 und Tb IV.1–5

## Stundenkomplex V

### Sicherheitstechnik und Unfallrisiko

#### 1. Methodisch-didaktische Vorbemerkungen

Die Konfrontation mit Auszügen aus real existierenden Katastrophenplänen in der ersten Phase konkretisiert bei den Schülern eine vermutlich abstrakte Vorstellung über mögliche Unfallfolgen und erleichtert ihnen, ein anschauliches und realitätsnahes Bild über die Situation der Bevölkerung im Katastrophengebiet zu entwerfen. Dieses ist erforderlich, weil anderenfalls eine Erörterung der Unfallmöglichkeiten in einem Kernkraftwerk für die Schüler ohne Bezug zur Wirklichkeit bleibt, und auf der Basis von anschauungsloser Phantasie und unreflektierten Ängsten eine sachlich qualifizierte Diskussion über die technischen Risiken eines KKWs nicht erfolgen kann. Das im Anschluß an die Tonbanddarbietung angesetzte Kurzgespräch über die Eintrittswahrscheinlichkeiten und Auswirkungen schwerer Unfälle motiviert die Schüler, aufgrund der Feststellung fehlender Sachinformationen, zur weiteren Beschäftigung mit dem Thema.

Nach den spontanen Stellungnahmen der Schüler in der Eingangsphase erfolgt eine Eingrenzung und Strukturierung der Sicherheitsfrage bei KKWn. Die Freisetzung großer Radioaktivitätsmengen wird dabei als schwerwiegendstes Unfallrisiko herausgestellt. Da die Schüler wissen, daß während des Normalbetriebs Abschirmvorrichtungen die Aktivitäten des KKWs von der Umwelt zurückhalten, werden sie Vermutungen über mögliche Ursachen einer Zerstörung der Sicherheitsbarrieren anstellen. Ihr technisches Wissen über die Steuerungsvorgänge und die Reaktorkühlung im KKW ermöglicht den Schülern, den Verlust von Kühlmittel als folgenschweren Störfall zu klassifizieren. Die Beschränkung auf einen Unfallkomplex ist m.E. didaktisch zu rechtfertigen, da eine Berücksichtigung verschiedener Unfallursachen die vertiefende Betrachtung und Hinzuziehung verschiedener Standpunkt erschweren würde. Zudem ist nicht beabsichtigt, den Schülern additives Wissen über die zahlreichen Möglichkeiten von Funktionsstörungen zu vermitteln, sondern sie in die Lage zu versetzen, exemplarisch die technischen Ursachen und Folgen eines schweren Störfalls zu durchdenken und sich mit den verschiedenen Standpunkten zur Eintrittswahrscheinlichkeit eines derartigen Störfalls auseinanderzusetzen.

Anhand einer Folie werden den Schülern technische Maßnahmen für den Fall eines

Kühlmittelverlustes demonstriert. Die Kenntnis des Notkühlsystems versetzt die Schüler in die Lage, die Ursachen für die Unterscheidung von GAU und Super-GAU in der Diskussion um den folgenschwersten Unfall zu verstehen, da den beiden Positionen eine unterschiedliche Einschätzung der Verlässlichkeit des Notkühlsystems zugrunde liegt.

Die Positionen von Kernenergiegegnern und -befürwortern entnehmen die Schüler einem Info-Blatt. Dabei werden sie feststellen, daß – ähnlich wie bei dem Problem der biologischen Schädlichkeit von Niedrigstaktivitäten – im Rahmen einer naturwissenschaftlich-technischen Argumentation die Sicherheitsfrage der Kernenergie nicht gelöst werden kann, sondern politische Abwägungen über das Ausmaß des Risikos, das einer Gesellschaft aufgebürdet werden kann, letztlich die Einstellung zur Kernenergie begründen.

Anhand des Störfallablaufs im Reaktor Three Mile Island in Harrisburg erhalten die Schüler Einblick in die Gefahr einer Störfalleskalation durch Zusammenwirken einzelner, für sich genommen harmloser, technischer und menschlicher Fehler beim Betrieb von Kernkraftwerken.

Um die unterschiedlichen Aspekte der Kernenergie in eine abschließende Diskussion einfließen zu lassen, wird ein Rollenspiel vorbereitet, in dem die Schüler während eines öffentlichen hearings Standpunkte als Vertreter verschiedener Interessensgruppen einnehmen sollen, die sich mit der geplanten Errichtung eines Kernkraftwerks auseinandersetzen (Lokalpolitiker, Vertreter der regionalen Industrie, Vertreter von Bürgerinitiativen, Sachverständige, Vertreter der Kernkraftwerksindustrie). Die Schüler erhalten Gelegenheit, unter Verwendung der bisher erhaltenen Arbeitsmaterialien in Gruppen die jeweils übernommene Rolle vorzubereiten. Mit diesem Rollenspiel sind Anforderungen an die Integrations-, Transfer- und Argumentationsfähigkeit der Schüler gestellt: Sie müssen in kurzer Zeit in Zusammenarbeit mit anderen einen Beitrag für eine sachliche Auseinandersetzung mit anderen Positionen erarbeiten, wobei sie die Argumente der Diskussionsgegner teilweise antizipieren werden; die Verteilung mehrerer Rollen erfordert eine Orientierung in einer sozial komplexen Situation.

## *2. Intentionen*

Die Schüler sollen

- erfahren, daß für möglicherweise eintretende Unfälle Sicherheitsvorkehrungen getroffen sind.
- hinter der Definition des folgenschwersten Unfalls als GAU bzw. Super-GAU die jeweils unterschiedlichen Prämissen über die Funktion eines Notkühlsystems erkennen.
- an einem ausgewählten Beispiel die Sicherheitstechnik in einem Kernkraftwerk kennenlernen.
- in einer Diskussion über die Sicherheit von Kernkraftwerken Unfallrisiken und Notmaßnahmen miteinander vergleichen.
- in einem Rollenspiel über die Standortwahl für ein Kernkraftwerk sicherheitstechnische und wirtschaftliche Aspekte in Beziehung setzen.

### 3. Lernziele

Die Schüler sollen

- die Abgabe großer Mengen radioaktiver Substanzen an die Umwelt als Folge eines schweren Unfalls benennen können.
- beim Vergleich der unterschiedlichen Aussagen über die Betriebssicherheit von Kernkraftwerken die Begriffe GAU und Super-Gau als hypothetische Konstrukte für einen großen Unfall identifizieren, indem sie die in diese Begriffsbildung einfließenden unterschiedlichen Prämissen über die Funktionalität von Notkühlsystemen benennen.
- anhand einer Funktionsskizze den Notkühlvorgang bei Unterbrechung des Primärkühlkreislaufs in Stichworten beschreiben können.
- als Unfallmöglichkeiten das Versagen des Kühlsystems und Undichtigkeiten im Druckgefäß nennen und als mögliche Ursachen eines Kühlmittelverlustes einen Rohrbruch und Schäden am Reaktordruckgefäß anführen können.
- Beispiele für das folgenschwere Zusammenwirken technischer und menschlicher Fehlleistungen beim Reaktorunfall in Harrisburg benennen können.

### 4. Arbeitsmaterialien:

- fiktive Rundfunkmeldung über einen schweren Atomkraftwerksunfall (S. 163 f.)
- Transparente:
  - Tr V.1 a–d Notkühlung beim Kernkraftwerk (vgl. S. 161)
  - Tr V.2 a–c Störfallentwicklung in Harrisburg (vgl. S. 161)
- Arbeitsblätter:
  - A V.1 Meldungen über Unfälle in Kernkraftwerken (vgl. S. 162)
  - A V.2 Wie sicher ist ein Kernkraftwerk? pro und contra am Beispiel des Reaktordruckgefäßes (vgl. S. 162)
- Tafelbilder:
  - Tb V.1; Tb V.2; Tb V.3; Tb V.4 (S. 162 f.)

## 5. Unterrichtsplan

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
<b>Phase I:</b> Problemeinführung: Katastrophenschutzmaßnahmen nach einem Kernkraftwerksunfall		
Unfallmöglichkeit im KKW	<p>S hören als Tonbandaufnahme eine fiktive Rundfunksendung über eine Katastrophewarnung nach einem KKW-Unfall, die auf realen Ausarbeitungen des hess. Innenministeriums beruht. Sie äußern sich spontan über Eintrittswahrscheinlichkeit und Folgen eines Unfalls.</p> <p>L bietet Tonbandaufnahme dar und hält Schüleräußerungen an der Tafel fest.</p>	Text einer fiktiven Rundfunksendung (S. 163 f.)
<b>Phase II:</b> Problemstrukturierung: Mögliche Ursachen eines schweren Störfalls im Kernkraftwerk		
Freisetzung großer Radioaktivitätsmengen als Hauptgefahr	<p>S geben sichere Zurückhaltung der Radioaktivität als Hauptproblem der sicherheitstechnischen Bemühungen im KKW an.</p> <p>L-Impuls: in einem 1000 MW KKW sammeln sich nach einem Jahr Betriebsdauer mehr Spaltprodukte an, als bisher bei allen Kernwaffentests auf der Erde freigesetzt wurden.</p> <p>S bearbeiten in Gruppenarbeit auf einem Arbeitsblatt vier Zeitungsmeldungen über Störfälle in KKWn und halten dabei die Unfallursachen fest. Zudem beantworten sie schriftlich die Frage nach möglichen Ursachen und Folgen eines Kühlwasserverlustes.</p>	(vgl. Kapitel II, S. 68–71 und S. 73–77)
Kühlmittelverlust als folgen-schwerster Unfall	<p>S bearbeiten in Gruppenarbeit auf einem Arbeitsblatt vier Zeitungsmeldungen über Störfälle in KKWn und halten dabei die Unfallursachen fest. Zudem beantworten sie schriftlich die Frage nach möglichen Ursachen und Folgen eines Kühlwasserverlustes.</p> <p>Vergleich der Arbeitsergebnisse und Festhalten der Vermutungen über Ursachen und Folgen des Kühlmittelverlustes an der Tafel.</p> <p>L projiziert zur Veranschaulichung noch einmal Folie über Energieumsetzung im Kernkraftwerk.</p>	<p>A V.1 (S. 162)</p> <p>Tb V.1 (S. 162)</p> <p>Tr III.3 a–d (S. 154)</p>
<b>Phase III:</b> Erarbeitung: Technische Sicherheitsmaßnahmen zur Abschwächung der Störfallfolgen		
Präventivmaßnahmen gegen Kühlwasserverlust	S stellen Vermutungen über technische Maßnahmen zur Störfallkontrolle an: Schnellabschaltung, Kontrolle von Reaktordruckgefäß und Rohrleitungen, Einsatz zusätzlicher Kühlvorrichtungen.	(vgl. Kapitel II, S. 69–75)



Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
Funktion eines Notkühlsystems	<p><i>L</i> bittet <i>S</i>, sich zu überlegen, wie die Folgen eines Kühlmittelverlustes abgeschwächt werden können.</p> <p>Festhalten der Schüleräußerungen im Tafelbild.</p> <p>Anschließend demonstriert <i>L</i> mit Hilfe eines Transparents Funktionsskizze eines Notkühlsystems.</p>	<p>Tb V.2 (S. 162)</p> <p>Tr V.1 a–d (S. 161)</p>
Positionen von Gegnern und Befürwortern	<p><i>S</i> erhalten Arbeitsblatt mit je einer Position von Befürwortern und Gegnern zum Unfallrisiko und geben die ihrer Meinung nach wichtigsten Argumente wieder.</p> <p><i>L</i> verteilt Arbeitsblatt und fordert <i>S</i> auf, die wichtigsten Argumente herauszuschreiben.</p>	A V.2 (S. 162)
Gau und Super-Gau	<p><i>S</i> benennen unterschiedliche Meinung zur Wirksamkeit des Notkühlsystems als Grund für die Unterscheidung von GAU und Super-GAU.</p> <p><i>L</i> erläutert Begriffe GAU und Super-GAU und fragt nach Ursache der Unterscheidung.</p>	
Störfall Harrisburg	<p>Lehrer gibt Basistransparent einer Aufbauolie vor, auf dem der Störfallbeginn und der Störfallhöhepunkt dargestellt sind.</p> <p><i>S</i> stellen Vermutungen an, wie eine derartige Entwicklung möglich gewesen sei.</p> <p><i>L</i> ergänzt Projektion des Störfallablaufs im Unterrichtsgespräch.</p> <p><i>S</i> fassen auf der Grundlage des Transparents den Unfallablauf zusammen.</p> <p>Ggf. Diskussion über Sicherheit von Kernkraftwerken und ergänzende Information des Lehrers über Störfall im KKW Brunsbüttel.</p>	<p>(vgl. Kapitel II, S. 71–73)</p> <p>Tr V.2 a (S. 161)</p> <p>Tr V.2 b, c (S. 161)</p> <p>(vgl. Kapitel II, S. 77)</p>
<i>Phase IV:</i> Vertiefung: Kernkraftwerke im Ballungszentrum – Sicherheit gegen Wirtschaftlichkeit?		
Standortprobleme für KKWe	<i>S</i> überprüfen anhand einer Landkarte, wie viele Kernkraftwerke im 45-km-Abstand von ihrem Wohnort entfernt sind. Falls innerhalb dieser Entfernung kein KKW in Betrieb sein sollte, suchen die Schüler die Städte im Umkreis von 45 km um die KKWe Brunsbüttel, Stade und Biblis heraus. Evt. Berechnung der Bevölkerungszahl.	Atlas oder Wandkarte der BRD

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
	<p><i>L</i> gibt Impuls: Die Atomenergiekommission der USA empfiehlt, KKWe nur in einer Entfernung von 45 km zu größeren Ansiedlungen zu bauen.</p> <p><i>S</i> sammeln Vor- und Nachteile von Kernkraftwerken in Ballungszentren.</p> <p><i>L</i> hält Äußerungen im Tafelbild fest.</p>	<p>(vgl. Kapitel II, S. 68–84 und S. 33–41)</p> <p>Tb V.3 (S. 163)</p>
<i>Phase V:</i>	Anwendung: Diskussion/Rollenspiel-Bau eines Atomkraftwerks in Wohnortsnähe	
bisher eingesetztes Arbeitsmaterial	<p><i>S</i> teilen sich in Gruppen auf und erarbeiten für eine zuvor festgelegte Rolle in einem Rollenspiel Stellungnahmen zum Bau eines KKWs in Wohnortnähe (Lokalpolitiker, Bürgerinitiative, Sachverständiger, Vertreter der regionalen Industrie, Vertreter der Kernindustrie)</p> <p><i>L</i> organisiert Gruppeneinteilung und stellt Arbeitsmaterial zur Verfügung.</p> <p>Durchführung des Rollenspiels: zunächst Abgabe von statements, dann Fragen aus der „Öffentlichkeit“, Diskussion.</p> <p>Zur Auswertung und abschließenden Zusammenfassung der Diskussion wird Tafelbild erstellt, in dem stichwortartig die jeweiligen Positionen zusammengetragen werden.</p>	<p>(vgl. Kapitel II, S. 55–84)</p> <p>Tb V.4 (S. 163)</p>

## Stundenkomplex VI

### Wirtschaftliche und technische Folgeprobleme der Kernenergie

#### 1. Methodisch-didaktische Vorbemerkungen

An Ende der Unterrichtseinheit sollen die Schüler ein Orientierungswissen über Folgetechnologien der Energiegewinnung durch Kernspaltung erwerben. Dabei wird versucht, durch Herausstellung wirtschaftlicher und technischer Zusammenhänge zwischen den einzelnen kerntechnischen Anlagen einen Gesamtüberblick über die Nukleartechnologie zu vermitteln. Dieser ist notwendig, um bei politischen Diskussionen über die Kernenergie nicht nur – in realitätsverkürzender Weise – die unmittelbare Kernspaltung zu thematisieren. Folgetechnologien wie Schneller

Brüter, Wiederaufarbeitung, Entsorgung erhöhen das gesellschaftliche Risiko der Kerntechnologie und müssen daher in die Diskussion über die gesellschaftliche Nützlichkeit nuklearer Energieproduktion einbezogen werden.

Am Stundenbeginn erhalten die Schüler die Information, daß bei Anwendung bisheriger Technologien die Weltvorräte an Uran im Jahre 2000 erschöpft sein werden. Ergänzt durch die Information über die Zusammensetzung der Brennelemente vor und nach Anwendung im Reaktor, ergeben sich damit Sachimpulse, die die Frage nach einer effektiveren Nutzung des Energiegehalts von Uran motivieren. Nachdem der wirtschaftliche Bezug hergestellt ist, werden die Arbeitsprinzipien des Schnellen Brüters und der Wiederaufarbeitungsanlage entwickelt. Unter Einbeziehung ihrer bisherigen Kenntnisse über die Gefahren der Kerntechnologie sind die Schüler in der Lage, selbständig die Risiken dieser Technologien zusammenzutragen.

Die Feststellung, daß in der Wiederaufarbeitungsanlage teilweise hochradioaktiver Müll anfällt, leitet die Frage nach sicheren Verwahrungsmöglichkeiten für kerntechnische Abfälle ein. Nachdem die Schüler Vorschläge zur Endlagerung des Atommülls diskutiert haben, wird das Endlagerkonzept der Bundesrepublik vorgestellt.

Um einen zusammenhängenden Überblick zu vermitteln, erhalten die Schüler am Ende des Stundenkomplexes die Aufgabe, wirtschaftliche und technische Beziehungen zwischen den einzelnen kerntechnischen Anlagen zu formulieren.

## *2. Intentionen*

Die Schüler sollen

- wirtschaftlich und technisch bedingte Folgetechnologien der Kernspaltung kennenlernen.
- bei der Beurteilung der gesellschaftlichen Bedeutung der Kernenergie den Gesamtzusammenhang des kerntechnischen Kreislaufs berücksichtigen können.
- die Funktionsprinzipien vom Schnellen Brüter und von der Wiederaufarbeitungsanlage verstehen.
- die Notwendigkeit der Entsorgung vom Atommüll begründen können.
- eine Wissensgrundlage für die Beteiligung an der öffentlichen Diskussion um Wiederaufarbeitung und Entsorgung erwerben.

## *3. Lernziele*

Die Schüler sollen

- die Entwicklung des Schnellen Brüters als wirtschaftspolitische Folgeerscheinung der Kernspaltung erläutern können, indem sie als Ursache der Entwicklung den Rückgang der Weltreserven an Uran nennen.
- wirtschaftliche und sicherheitstechnische Begründungen für den Bau von Wiederaufarbeitungsanlagen anführen können, indem sie auf die Restbestände spaltbaren Materials und auf die hohe Radioaktivität der Spaltprodukte in abgebrannten Brennelementen verweisen.

- die Priorität der Entsorgungsfrage mit der Entstehung von radioaktiven Abfällen in kerntechnischen Anlagen begründen können.
- erkennen können, daß zur Beurteilung des Risikos und der Wirtschaftlichkeit der Kernenergie die Betrachtung des Gesamtkreislaufs des Kernbrennstoffs notwendig ist, indem sie für die einzelnen Stationen des Brennstoffkreislaufs jeweils mindestens eine sicherheitstechnische und wirtschaftliche Funktion benennen.

#### 4. Arbeitsmaterialien

- Projektionsfolien:  
Tr VI.1 Radioaktiver Abfall aus Kernkraftwerken (vgl. S. 165)
- Arbeitsblätter:  
A VI.1 Verbesserung der Urannutzung (vgl. S. 165)  
A VI.2 Der Brennstoffkreislauf in kerntechnischen Anlagen (vgl. S. 165)
- Tafelbilder:  
Tb VI.1 a, b; Tb VI.2 a, b; Tb VI.3 (S. 166)

#### 5. Unterrichtsplanung

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
----------------	----------------------	-------------------

##### Phase I: Problemeinleitung: Abbau der Weltvorräte an Uran

Weltvorräte des Uran sind begrenzt	<p><i>S</i> schlagen Maßnahmen zur effektiveren Nutzung des Uran vor.</p> <p><i>L</i> gibt Impuls: die kostengünstig abbaubaren Weltvorräte an Uran werden um 2000 herum erschöpft sein.</p>	(vgl. Kapitel II, S. 53–56, 63f. und S. 82)
technische Möglichkeiten zur optimalen Nutzung der Uranvorräte	<p><i>S</i> erkennen, daß die Nutzung von U 238 zur Energiegewinnung lang anhaltende Energiequellen erschließen würde.</p> <p><i>L</i> gibt Information: im Natururan verteilen sich die Isotope U 238 und U 235 im Verhältnis 99,3 zu 0,7.</p> <p><i>S</i> schlagen vor, spaltbares Material aus abgebrannten Brennelementen zurückzugewinnen.</p> <p><i>L</i> teilt mit, daß in einem abgebrannten Brennstab noch 1 % U 235 vorhanden ist und verteilt Arbeitsblatt.</p>	Teil 1 von A VI.1 (S. 165)

##### Phase II: Schneller Brüter als wirtschaftlich bedingte technologische Weiterentwicklung der Kerntechnik

<i>S</i> tragen ihre Informationen zum Schnellen Brüter zusammen.	(vgl. Kapitel II, S. 53–55 und
---	--------------------------------

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
	<i>L</i> nennt Schnellen Brüter als die zur Zeit realisierbare technische Maßnahme zur Energiegewinnung aus U 238.	S. 82–84)
Brutprinzip im Schnellen Brüter	<i>L</i> erläutert Brüterprinzip und gibt Information, daß als Kühlmittel Natrium Verwendung findet. Fixierung des Brutvorgangs im Tafelbild.	Tb VI.1 a (S. 166)
	<i>S</i> geben auf Arbeitsblatt die Veränderung der Neutronen und Protonenzahl beim Brutvorgang an.	Teil 2 von A VI.1 (S. 165)
Sicherheitstechnische Probleme des Brutreaktors	<i>S</i> weisen auf Reaktionsfreudigkeit des Natriums mit Luft und Wasser hin und schließen, daß der Kühlkreislauf nicht in Berührung mit Luft kommen darf. <i>L</i> fragt nach chemischen Eigenschaften des Natriums.	
Plutoniumüberwachung	<i>S</i> formulieren als weiteres sicherheitstechnisches Problem die lückenlose Überwachung von Plutonium. <i>L</i> informiert, daß das erbrütete Plutonium eines der giftigsten Stoffe sei, und daß bereits wenig kg zum Bau einer Atombombe genügen. <i>S</i> formulieren zwei sicherheitstechnische Probleme der Brütertechnologie schriftlich. <i>L</i> formuliert Aufgabe und hält Ergebnisse an der Tafel fest.	Teil 3 von A VI.1 (S. 165) Tb VI.1 b (S. 166)
<i>Phase III:</i> Wiederaufarbeitungsanlage als wirtschaftlich und sicherheitstechnisch bedingte Folgetechnologie der Kernspaltung		
Zusammensetzung abgebrannter Brennelemente	<i>S</i> geben an, daß Spaltprodukte sicher beseitigt werden müssen und Plutonium und nicht abgebranntes Uran 235 zurückgewonnen werden können. <i>L</i> gibt Impuls: Transparent, das die Zusammensetzung abgebrannter Brennstäbe eines Reaktors zeigt. Ergänzung des Tafelbildes.	(vgl. Kapitel II, S. 63–68) Teil 1 von Tr VI.1 (S. 165) Tb VI.2 a (S. 166)
Wiederaufarbeitungsphasen	<i>S</i> nennen hohe Radioaktivität als Hindernis für eine sofortige Verarbeitung der Brennelemente und vermuten, daß Brennelemente zunächst gelagert werden müssen.	

Teilergebnisse	Unterrichtsgeschehen	Medien/Lehrerinfo
	<i>L</i> fragt, ob sofort nach Abbrand mit der Wiederaufarbeitung begonnen werden kann und stellt weitere Aufarbeitungsphasen durch Ergänzung des Transparents dar.	Teil 2 von Tr VI.1 (S. 165)
Sicherheitsrisiken bei der Wiederaufarbeitung	<i>S</i> nennen Transportprobleme, radiologische Zusatzbelastungen als Risiken der Wiederaufarbeitung. <i>L</i> fragt nach zusätzlichen Risiken der Wiederaufarbeitung und hält <i>S</i> -Äußerungen an der Tafel fest.	Tb VI.2b (S. 166)
<i>Phase IV: Entsorgungsprobleme der Kerntechnik</i>		
Endlagerung radioaktiver Abfälle	<i>S</i> machen Vorschläge zur Entsorgung von Atommüll. <i>L</i> gibt Information, daß hochradioaktive Abfälle z.T. jahrtausendlang von der Umwelt verschlossen gehalten werden müssen. <i>S</i> zählen neben Abfällen aus der Wiederaufarbeitung weitere Atommüllbestandteile auf (ausgediente Reaktorteile, stillgelegte Anlagen)	(vgl. Kapitel II, S. 63–68)
Salzstöcke als Endlagerstätte	<i>L</i> erläutert Endlagerkonzept in der Bundesrepublik und erweitert Folienprojektion.	Teil 3 von Tr VI.1 (S. 165)
Sicherheitsprobleme der Entsorgung	<i>S</i> formulieren schriftlich Sicherheitsprobleme der Entsorgung. <i>L</i> stellt Arbeitsaufgabe und sammelt Ergebnisse an der Tafel.	Tb VI.3 (S. 166)
„Gorleben-Problem“	Evtl. Diskussion über die Realisierbarkeit langfristiger Entsorgung und Problematisierung politischer Folgeprobleme. Ansprechen der „Gorleben-Auseinandersetzung“ (evtl. vorbereitet durch Schülerreferat anhand von Texten aus diesem Buch)	(vgl. Kapitel II, S. 63–68)

*Phase V: Anwendung und Sicherung der Lernergebnisse*

Gesamtübersicht über den Funktionszusammenhang kerntechnischer Anlagen	<i>S</i> fassen im lehrergeleiteten Unterrichtsgespräch den Gesamtkreislauf zusammen und formulieren auf einem Arbeitsblatt mindestens je eine sicherheitstechnische und wirtschaftliche Funktion für die einzelnen kerntechnischen Anlagen sowie zu jeder Station zwei technologische Risiken.	A VI.2 (S. 165)
--	---	--------------------

*L* stellt Arbeitsblatt zur Verfügung.  
Nach Austausch der Ergebnisse Diskussion  
über die gesellschaftliche Nützlichkeit der  
Kernenergie.

## Weiterführende Schüleraktivitäten

Nach Abschluß der Unterrichtseinheit besteht die Möglichkeit, mit den Schülern schulinterne Aktivitäten über das Problem Kernenergie zu planen und durchzuführen. Dabei bietet sich an:

- gemeinsame Artikel für die Schülerzeitung; evtl. mit verschiedenen Stellungnahmen.
- Plakatausstellung oder Wandzeitung in der Schule.
- Erstellen einer Info-Broschüre über Kernenergie.
- Vorbereitung und Durchführung einer Podiumsdiskussion mit Schülern einer Jahrgangsstufe als „Publikum“.

Als Informationsmaterial können die in der Unterrichtseinheit eingesetzten Arbeitsblätter und Skizzen dienen; für Wandzeitungen und Ausstellungen müßten interessierte Schüler Zeichnungen auf größere Papierunterlagen übertragen.

Zur Vorbereitung der Podiumsdiskussion bieten sich vier inhaltliche Schwerpunktthemen an, zu denen die Schüler sich in Form der Erstellung eines Referates vertiefend sachkundig machen sollten:

### *Wirtschaftspolitischer Aspekt:*

- I. Kernkraftwerke sind wirtschaftlich notwendig.
- II. Auf Kernkraftwerke kann unter energiepolitischen Gesichtspunkten verzichtet werden.

### *Sicherheitstechnischer Aspekt:*

- I. Kernenergie ist sicher und umweltfreundlich
- II. Risiken der Atomkraftnutzung.

Als Informationsgrundlage können die Schüler ihre während der Unterrichtseinheit angefertigten Mitschriften (Tafelbilder), sowie die bearbeiteten Arbeitsblätter verwenden. Arbeitsgruppen aus 9. und 10. Jahrgangsstufen kann zur Vertiefung das vorliegende Buch zur Verfügung gestellt werden. Dabei sollte der Lehrer die einzelnen Referat- bzw. Arbeitsgruppen auf die themenspezifisch wichtigen Abschnitte hinweisen:

Thema: Kernkraftwerke sind wirtschaftlich notwendig.	Seite	33 – 41
	und	S. 78f.
Auf Atomkraftwerke kann unter energiepolitischen Gesichtspunkten verzichtet werden.	Seite	78 – 84
Kernenergie ist sicher und umweltfreundlich.	Seite	50–55, 59f.
	und	S. 69 – 71
Risiken der Atomkraftnutzung.	Seite	55 – 77



## Literaturverzeichnis

- Adelhelm, M. u. a.*: Wege in die Physik und Chemie, Stuttgart 1976
- Alex, H. u. a.*: Gutachten über die Sicherheit des 1300 MW Kernkraftwerks mit einem KWU-Druckwasserreaktor für Standort Esensham. Institut für Reaktorsicherheit des TÜV, Köln 1971
- Altwater, E.*: Zu einigen Problemen des Staatsinterventionismus. In: PROKLA 3/, S. 1–53, 1972
- Altwater, W.*: Derzeitiger Stand und Entwicklung der Kernkraftwerkstechnik. In: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H. (Hrsg.): Energietechnik im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen, S. 3–27, Ffm. 1975
- Amelung, U.*: Deduktion und Reduktion im Physikunterricht. In: Schmidt, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie, S. 77–81, Hannover 1973
- Ärztliches Memorandum*: Zur industriellen Nutzung der Atomenergie. In: Strohm, H. (Hrsg.): Biologische Schäden durch Atomkraftwerke und energiereiche Strahlen, S. 7–16, Hamburg 1976
- Barrit, J.*: Die Struktur der Atome und Moleküle, Weinheim 1973
- Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultur (Hrsg.)*: Stufenweise Einführung der curricularen Lehrpläne für die Hauptschule, fünfte bis neunte Jahrgangsstufe, München 1977
- Beck, J.*: Lernen in der Klassenschule, Reinbek bei Hamburg 1974
- Becker, E., Herkommer, S., Bergmann, J.*: Erziehung zur Anpassung, Ffm. 1970
- Becker, H.-J.*: Zur affektiven Resonanz des Chemieunterrichts. Eine empirische Untersuchung an Berliner Haupt- und Realschulen über Zusammenhänge zwischen Fachbeliebtheit und anderen fachspezifischen Einstellungen und Aspekten, Berlin 1977
- Behörde für Schule, Jugend und Bildung der Freien und Hansestadt Hamburg*: Richtlinien und Lehrpläne. Band II der Volksschule, Haupt- und Realschule. Sozialkunde und Politik, Hamburg 1973 a
- Behörde für Schule, Jugend und Bildung der Freien und Hansestadt Hamburg*: Richtlinien und Lehrpläne. Band II der Volksschule, Haupt- und Realschule. Physik, Hamburg 1973 b
- Bernfeld, S.*: Sisyphe oder die Grenzen der Erziehung, Ffm. 1973
- Bourdieu, P., Passeron, J.*: Abhängigkeit in der Unabhängigkeit. Die relative Autonomie des Bildungssystems. In: Hurrelmann, K. (Hrsg.): Soziologie der Erziehung, S. 124–158, Weinheim und Basel 1974
- Braun, W.*: Weiterentwicklung des Druckwasserreaktors in der BRD. In: atomwirtschaft-atomtechnik 9/10, S. 483–486, 1972
- Bultaup, P.*: Fachsystematik und didaktische Modelle. In: Ewers, M. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Didaktik zwischen Kritik und Konstruktion, Weinheim und Basel 1975
- Bund Bürgerinitiative Umweltschutz*: Wie die Energielücke rechtzeitig zu stopfen wäre. In: Frankfurter Rundschau v. 1.12.1977, S. 10f., 1977

- Bundesminister des Innern*: Friedliche Nutzung der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland. Antwort der Bundesregierung auf eine Große Anfrage im Deutschen Bundestag. Bundestagsdrucksache 7/3871, Bonn 1975
- Bundesminister des Innern*: Situation der Entsorgung der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland, Bonn 1978
- Bundesminister des Innern*: Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahre 1977, Bonn 1979a
- Bundesminister des Innern*: Harrisburg-Bericht. Bewertung des Störfalles im Kernkraftwerk Harrisburg, Bonn 1979b
- Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT)*: Rahmenprogramm Energieforschung 1974–1977, Bonn 1975
- Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT)*: Kernenergie. Eine Bürgerinformation, Bonn 1976
- Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT)*: Programm Energieforschung Energietechnologie 1977, 1980, Bonn 1977
- Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT)*: Zur friedlichen Nutzung der Kernenergie. Eine Dokumentation der Bundesregierung, Bonn 1978
- Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT)*: Energiediskussion. Informationen–Argumente–Meinungen, 1/2 1980, Bonn 1980
- Bundesminister für Wirtschaft*: Energieprogramm der Bundesregierung. Zweite Fortschreibung vom 14. 12. 1977, Bonn 1977
- Bundesminister für Wirtschaft*: Daten zur Entwicklung der Energiewirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1978, Bonn 1979
- Bundestagsdrucksache*: Nr. 8/570, Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der Abgeordneten Stahl (Kempen), Egert, Konrad, Dr. Meinecke (Hamburg), Meinighaus, Dr. Spöri, Urbaniack, Wolfram (Recklinghausen), Dr.-Ing. Laermann, Dr. Graf Lambsdorff, Wolgram (Göttingen), Hoppe und der Fraktionen der SPD und FDP im Deutschen Bundestag, Bonn 1977
- Bundestagsprotokoll*: Protokoll der Sitzung des Deutschen Bundestages vom 10. 11. 1965. In: Huffschild, J.: Die Politik des Kapitals. Ffm. 1973
- Bundeszentrale für politische Bildung (Hrsg.)*: Informationen zur politischen Bildung, Nr. 162, Bonn 1975
- Christen, H. R.*: Einführung in die Chemie, Ffm. 1974a
- Christen, H. R.*: Struktur, Stoff, Reaktion. Allgemeine und anorganische Chemie, Ffm. 1974b
- Christen, H. R.*: Struktur, Stoff, Reaktion. Organische Chemie, Ffm. 1976
- v. *Cube, A.*: Die Entsorgung in der öffentlichen Diskussion. In Deutsches Atomforum: Entsorgung der Kerntechnik, S. 59–70, Bonn 1976
- Cuny, K.-H.*: Einführung in die Chemie. Wir experimentieren mit Aufbauteilen, Weinheim und Basel 1967
- Cuny, K.-H., Weber, W.*: Chemie – Welt der Stoffe, Hannover 1975
- Deutsches Atomforum (Hrsg.)*: Entsorgung der Kerntechnik, Bonn 1976
- Deutsches Atomforum (Hrsg.)*: Betriebserfahrungen mit Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland. Jahresbericht 1976, Bonn 1977
- Deutsches Atomforum (Hrsg.)*: Kernthemen, Urananreicherung, Konversion, Bonn 1978
- Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen*: Verfahrenstechnische Realisierbarkeit des Entsorgungszentrums. Material zum Entsorgungsbericht der Bundesregierung. In: Bundesminister des Innern: Situation der Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland, Anhang, Bonn 1978

- Döbert, R., Nunner-Winkler, G.*: Konflikt- und Rückzugspotentiale in spätkapitalistischen Gesellschaften. In: Zeitschrift für Soziologie, 2. Jg., Heft 4, S. 301–125, 1973
- Engels, F.*: Der Ursprung der Familie, des Privateigentums und des Staates. In Marx-Engels-Werke, Bd. 21, S. 27–172, Berlin (DDR) 1969
- Ettemeyer, R.*: Betriebserfahrungen in Kernkraftwerken. In: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m. b. H. (Hrsg.): Energietechnik im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen. S. 28–44, Ffm. 1975
- Fend, H.*: Gesellschaftliche Bedingungen schulischer Sozialisation, Weinheim und Basel 1974
- Fischer, K.-G.*: Wie ist Theoriebildung für politische Bildung möglich? In: Fischer, K.-G. (Hrsg.): Zum aktuellen Stand der Theorie und Didaktik der politischen Bildung, S. 177–192, Stuttgart 1975
- Flitner, W.*: Der Kampf gegen die Stofffülle. Exemplarisches Lernen, Verdichtung und Auswahl. In: Die Sammlung, 10. Jg., S. 556–561, 1955
- Flörke, W.; Flohr, F.*: Methodik und Praxis des chemischen Unterrichts, Heidelberg 1969
- Forbes, I.A.*: Nuclear Safety. An Evaluation of New Evidence. The Union of Concerned Scientists, Cambridge 1971
- Frankfurter Rundschau*: Wochenendbeilage vom 28. 9. 1974
- Frankfurter Rundschau*: Vom 16. 7.; 4. 8.; 20. 8.; 21. 9.; 27. 9.; 1. 10.; 28. 10.; 11. 11.; 15. 12.; 1977
- Frankfurter Rundschau*: vom 31. 7. 1978
- Frankfurter Rundschau*: vom 2. 4.; 3. 4.; 5. 4.; 6. 4.; 26. 4.; 3. 5.; 27. 6.; 31. 7.; 3. 9.; 4. 9.; 19. 9.; 20. 9.; 1979
- Frankfurter Rundschau*: vom 18. 1.; 9. 9.; 26. 9.; 21. 10.; 1980
- Frankfurter Rundschau*: vom 4. 2.; 24. 2.; 27. 3.; 30. 4.; 6. 5.; 7. 5.; 1. 9. 1981
- Freise, G.*: Interdisziplinärer Unterricht oder Zementierung der Realfächer. In: Neue Sammlung, 11. Jg., S. 369–386, 1971
- Freise, G.*: Problemorientierte Integration der Naturwissenschaften im Curriculum. In: Frey, K.; Häusler, P.: Integriertes Curriculum Naturwissenschaft. Theoretische Grundlagen und Ansätze, S. 207–229, Weinheim und Basel 1973
- Gerwin, R.*: So ist das mit der Kernenergie. Von der Kernspaltung zum Strom, Düsseldorf und Wien 1977
- Gesellschaft für Reaktorsicherheit*: Störfall im Kernkraftwerk Three Mile Island, Harrisburg, Pennsylvania, Köln 1979
- Giesecke, H.*: Didaktik der politischen Bildung, München 1976
- Glaser, H.*: Die „friedliche“ Nutzung der Atomenergie als Beispiel kapitalistischer Technologieentwicklung – Thesen zum Zusammenhang von Kapitalentwicklung und Ökologieproblemen. In: Prokla, Zeitschrift für Politische Ökonomie und sozialistische Politik 39, S. 17–41, 1980
- Gottschalch, W.*: Soziologie der politischen Bildung, Ffm. 1973
- Graumann, C. F.*: Motivation, Ffm. 1969
- v. Greiff, B.*: Gesellschaftsform und Erkenntnisform. Zum Zusammenhang von wissenschaftlicher Erfahrung und gesellschaftlicher Entwicklung, Ffm. 1976
- Gröll, J.*: Erziehung im gesellschaftlichen Reproduktionsprozeß. Vorüberlegungen zur Erziehungstheorie in praktischer Absicht, Ffm. 1975
- Grothe, K.-H.*: Chemie, Hannover 1976
- Habermas, J.*: Technik und Wissenschaft als Ideologie, Ffm. 1971
- Haenschke, F.*: Modell Deutschland? Die Bundesrepublik in der technologischen Krise, Reinbek bei Hamburg 1977

- Hagemann-White, C., Wolff, R.*: Lebensumstände und Erziehung. Ffm. 1975
- Hamburgische Electricitätswerke, Nordwestdeutsche Kraftwerke (Hrsg.)*: 66 Fragen – 66 Antworten zum besseren Verständnis der Kernenergie. Hamburg 1976
- Häusler, K.*: Natur und Technik, Chemie 2, München 1974
- Häusler, K.*: Natur und Technik, Chemie 1, München 1976a
- Häusler, K.*: Natur und Technik, Chemie Bd. I, Lehrerhandbuch, München 1976b
- Heckhausen, H.*: Einflüsse der Erziehung auf die Motivationsgenese. In: Herrmann, Th. (Hrsg.): Psychologie der Erziehungsstile, Göttingen 1966
- Heckhausen, H.*: Förderung der Lernmotivierung und der intellektuellen Tüchtigkeiten. In: Roth, H. (Hrsg.): Begabung und Lernen, Stuttgart 1968
- Heintel, P.*: Politische Bildung als Prinzip aller Bildung, Wien und München 1977
- Herndorn, J.*: Die Schule überleben, Stuttgart 1972
- Hessischer Kultusminister (Hrsg.)*: Rahmenrichtlinien Sek. I, Biologie, Wiesbaden 1962
- Hessischer Kultusminister (Hrsg.)*: Rahmenrichtlinien Sek. I, Gesellschaftslehre, Wiesbaden 1973
- Hessischer Kultusminister (Hrsg.)*: Rahmenrichtlinien Sek. I, Chemie, Wiesbaden 1976
- Heyner, W.*: Determinanten für das Lösungsverhalten der Schüler bei der Bearbeitung naturwissenschaftlicher Problemstellungen. In Schmidt, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven, S. 82–93, Hannover 1973
- Himmel, Hoffmeister*: Fernschreiben Nr. 1271 vom 2.4. 1979 an Bonn AA aus Washington, 1979
- Höfling, O.*: Physik Bd. II, Teil 3, Bonn 1976
- Höhn, E.*: Der schlechte Schüler. Sozialpsychologische Untersuchungen über das Bild des Schulversagers, München 1967
- Holzkamp, Chr.*: Die Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten. In: b:e Redaktion (Hrsg.): Familienerziehung, Sozialschicht und Schulerfolg, S. 83–114, Weinheim und Basel 1974
- Huisken, F.*: Zur Kritik bürgerlicher Didaktik und Bildungsökonomie, München 1972
- Hurrelmann, K.*: Soziologie der Erziehung, Weinheim und Basel, 1974
- IAEO*: Nuclear Power and the Environment, Wien. In: Strohm, H.: Friedlich in die Katastrophe, Hamburg 1977, 1972
- Institut für Reaktorsicherheit des Technischen Überwachungsvereins e.V. (Hrsg.)*: Die Bevölkerungsentwicklung an Standorten kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland, Köln 1975
- Jackson, Ph. W.*: Einübung in eine bürokratische Gesellschaft. Zur Funktion der sozialen Verkehrsformen im Klassenzimmer. In: Zinnecker, J. (Hrsg.): Der heimliche Lehrplan, S. 19–34, Weinheim und Basel 1975
- Keller, W.*: Energieversorgung durch Leichtwasserreaktoren. In: atomwirtschaft-atomtechnik 10, S. 476–482, 1975
- Kernforschungsanstalt Jülich (Hrsg.)*: Programmstudie „Sekundärenergiesysteme“, Jülich 1974
- Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH (Hrsg.)*: Kernkraftwerk Brunsbüttel, Brunsbüttel 1977
- Kiekeben, H.-H.*: Unterrichtsprojekte Chemie, Weinheim und Basel 1974
- Klafki, W.*: Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. In: Roth, H., Blumenthal, A (Hrsg.): Auswahl Reihe A, Didaktische Analyse, S. 5–34, Hannover 1969
- Koch, E., Vahrenholt, F.*: Seveso ist überall. Die tödlichen Risiken der Chemie, Köln 1978
- Konferenz der Kultusminister der Länder*: Zur Stellung der Schüler in der Schule. In: Schule und Ausbildung in Niedersachsen. Information für Eltern, Schüler und Lehrer, Nr. 4, 1974
- Kuchling, H.*: Physik in Formeln und Gesetzen, Köln (o. Jg.)

- Kühn, K.*: Das Endlagerkonzept der Bundesrepublik. In: Deutsches Atomforum (Hrsg.): Entsorgung der Kerntechnik, S. 279–295, Bonn 1976
- Kuhn, Th. S.*: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Ffm. 1978
- Kultusminister von Nordrhein-Westfalen (Hrsg.)*: Richtlinien und Lehrpläne für die Hauptschule in Nordrhein-Westfalen. Physik–Chemie, Düsseldorf 1973
- Kultusminister des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.)*: Lehrplan Realschule (Klasse 7–10). Chemie, Kiel 1977a
- Kultusminister des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.)*: Lehrplan Realschule (Klasse 7–10). Physik, Kiel 1977b
- Lenhart, V.*: Demokratisierung der Schule, Ffm. 1972
- Mandel, H.*: Die energiepolitische Bedeutung der Entsorgung. In: Deutsches Atomforum (Hrsg.): Entsorgung der Kerntechnik, S. 9–34, Bonn 1976
- Manstein, B.*: Kernenergie und ihre somatischen Risiken. In: Strohm, H. (Hrsg.): Biologische Schäden durch Atomkraftwerke und energiereiche Strahlen, S. 45–71, Hamburg 1976
- Marx, K.*: Das Elend der Philosophie. In: Marx-Engels-Werke, Band 4, S. 61–182, Berlin (DDR) 1977
- Matthöfer, H.*: Interviews und Gespräche zur Kernenergie. Heidelberg und Karlsruhe 1977
- Mattick, W., Bugel, J.*: Die Hochtemperaturreaktor-Baulinie. In: atomwirtschaft-atomtechnik 10, S. 483–489, 1975
- Meliss, M.*: Nichtfossile und nichtnukleare Primärenergieträger. In: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m. b. H. (Hrsg.): Energietechnik im Hinblick auf künftige Entwicklungen, S. 65–94, Ffm. 1975
- Messerschmid, F.*: Zur gegenwärtigen Situation des politischen Unterrichts in der Schule. In: Lehr- und Lernmittel im politischen Unterricht, Bonn 1970
- Mickel, W.*: Politische Bildung an Gymnasien 1945–1965, Stuttgart 1967
- Ministerium für Kultur und Sport in Baden-Württemberg (Hrsg.)*: Vorläufige Lehrpläne für die Hauptschule, Lehrplanheft 8/1979, Stuttgart 1979
- Negt, O.*: Soziologische Phantasie und exemplarisches Lernen. Zur Theorie und Praxis der Arbeiterbildung, Ffm. 1975
- die Neue*: vom 8.9.1979
- Neumann-Schönwetter, M.*: Soziale Determinanten der Leistungsmotivation. In: Gottschalch, W. u. a.: Sozialisationsforschung, S. 102–107, Ffm. 1971
- Niedersächsische Kultusminister (Hrsg.)*: Entwurf eines niedersächsischen Schulgesetzes, Hannover 1973
- Niedersächsische Kultusminister (Hrsg.)*: Materialien zur Vorbereitung von Rahmenplänen für den Sekundarbereich I, Hannover 1974
- Niedersächsische Landesregierung, Pressestelle*: Nein zur Wiederaufarbeitung bekräftigt. Presseerklärung der Landesregierung vom 29. Juni 1979, Hannover 1979a
- Niedersächsische Landesregierung, Pressestelle*: Wiederaufarbeitungsanlage vom Tisch. Presseerklärung der Landesregierung vom 19. Juli 1979, Hannover 1979b
- Niedersächsische Landesregierung, Pressestelle*: Regierungserklärung von Ministerpräsident Dr. Ernst Albrecht vom 16.5.1979, Hannover 1979c
- Nitzschke, V.*: Politische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. In: Fischer, K.-G. (Hrsg.): Zum aktuellen Stand der Theorie und Didaktik der Politischen Bildung, S. 165–176, Stuttgart 1975
- Nöding, S.*: Zur Problematik des Aufstellens von Modellen und Arbeiten mit Modellen als übergeordnete Lernziele für den Chemieunterricht. In: Schmidt, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven, S. 224–231, Hannover 1973

- Nyssen, E., Rolff, H.-G.: Perspektiven der Schulreform im Spätkapitalismus. In: Rolff, H.-G. u. a.: Strategisches Lernen in der Gesamtschule, S. 21–49, Reinbek bei Hamburg 1974
- OECD-Kernenergieagentur (Hrsg.): Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle, Paris 1977
- Oetinger, F.: Partnerschaft. Die Aufgabe der politischen Erziehung, Stuttgart 1953
- Offe, C.: Strukturprobleme des kapitalistischen Staates, Ffm. 1973
- Osterland, M. u. a.: Materialien zur Lebens- und Arbeitssituation der Industriearbeiter in der BRD, Ffm. 1973
- Pauling, L.: Handbuch der Chemie, Weinheim 1973
- Porschen, W.: Einführung in die Kernphysik für Techniker, München 1962
- Preuß, U.-K.: Bildung und Herrschaft. Beiträge zu einer politischen Theorie des Bildungswesens, Ffm. 1975
- Projektgesellschaft Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (Hrsg.): Deutschland braucht Kernenergie, Essen 1976
- Prüß, K.: Kernforschungspolitik in der Bundesrepublik Deutschland, Ffm. 1974
- Raith, W. (Hrsg.): Handbuch zum Unterricht. Modelle emanzipatorischer Praxis, Starnberg 1973
- Rammensee, W.: Gefährdung durch nukleare Transporte. In: Bundesverband Bürgerinitiative Umweltschutz (Hrsg.): Wiederaufarbeitung und Lagerung von Atom Müll-Entsorgung oder ewige Sorgen, S. 80–84, Cloppenburg 1977
- Ramsey, R.: Alternativlösungen in der Beseitigung radioaktiver Abfälle. In: Deutsches Atomforum (Hrsg.): Entsorgung der Kerntechnik, S. 297–312, Bonn 1976
- Rosen, B. C., D'Andrade, R.: Die psychosozialen Ursprünge der Leistungsmotivation. In: Graumann, C. F., Heckhausen, H. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie Band I, S. 106–122, Ffm. 1973
- Rost, R.: Anatomie des Atoms, Hannover 1976
- Roth H.: Pädagogische Psychologie des Lehrens und Lernens, Hannover 1965
- Schiefele, H., Hausser, K., Schneider, G.: „Interesse“ als Ziel und Weg der Erziehung. In: Zeitschrift für Pädagogik 1, S. 1–20, 1979
- Schmidt-Küster, W. J., Popp, M.: Zwanzig Jahre Kernenergieentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland. In: atomwirtschaft-atomtechnik 1, S. 18–23, 1975
- Schmiederer, R.: Zur Kritik der politischen Bildung, Ffm. 1971
- Schmiederer, R.: Zwischen Affirmation und Reformismus. Politische Bildung in Westdeutschland seit 1945, Ffm. 1972
- Schröder, W. u. a.: Natur und Technik 2, Berlin 1971
- Schuch, H.-W.: Der „subjektive Faktor“ in der politischen Erziehung. In: Schuch, H.-W. (Hrsg.): Der subjektive Faktor in der politischen Erziehung, Stuttgart 1978a
- Schuch, H.-W.: Prinzip oder Erfahrung? Integrationsprobleme politischer Erziehung. In: Schuch, H.-W. (Hrsg.): Der subjektive Faktor in der politischen Erziehung, Stuttgart 1978b
- Schüller, W.: Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen – Bericht über den Stand der Technik. In: Deutsches Atomforum (Hrsg.): Entsorgung der Kerntechnik, S. 85–107, Bonn 1976
- Schüller, W.: Kann man die Kernenergie angesichts der Entsorgungsprobleme heute verantworten? In: Deutsches Atomforum (Hrsg.): Sichere Entsorgung? S. 4–25, Bonn 1978
- Schultz, H., Vogt, H.-G.: Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes, München 1977
- Schweizerische Vereinigung für Atomenergie (Hrsg.): Energie – Kernenergie, Bern 1976

- Schwibach, J., Jacobi, W.*: Die Umwelt- und Sicherheitsproblematik. In: Deutsches Atomforum (Hrsg.): Entsorgung der Kerntechnik, S. 35–58, Bonn 1976
- Selchow, H., Wrobel, R.*: Chemie und Atombau, Hannover 1970
- Selchow, H., Wrobel, R.*: Chemie und Atombau. Lehrerbegleitheft, Hannover 1972
- Senator für Bildung (Hrsg.)*: Lehrplanentwurf Gesellschaft/Politik, Sek. I, Bremen 1973
- Senator für Bildung (Hrsg.)*: Lehrplanentwurf Naturwissenschaft/Mathematik, Sekundarstufe I, Bremen 1979
- Senator für Schulwesen (Hrsg.)*: Rahmenpläne für Unterricht und Erziehung, A I, Berlin (o. Jg. a)
- Senator für Schulwesen (Hrsg.)*: Rahmenpläne für Unterricht und Erziehung, A V 15, Berlin (o. Jg. b)
- Senator für Schulwesen (Hrsg.)*: Rahmenpläne für Unterricht und Erziehung, B IIIb 16, Berlin (o. Jg. c)
- Shaw, M.*: Cooperative Arrangements with GE on a Water Reactor Safety Program. Letter to R.E. Hollingsworth, February 24. In: Strohm, H.: Friedlich in die Katastrophe, S. 180, Hamburg 1971
- Der SPIEGEL*: Heft 47, 1976
- Der SPIEGEL*: Heft 1/2, 1977
- Der SPIEGEL*: Heft 15, 1979
- Spranger, E.*: Auf der Suche nach Bildungsgütern. In: Gerner, B. (Hrsg.): Das exemplarische Prinzip. Beiträge zur Didaktik der Gegenwart, Darmstadt 1963
- Speckelsen, K.*: Konzepte und Theorien der Naturwissenschaften als Ansatz für ein integriertes Curriculum. In: Frey, K., Häusler, P. (Hrsg.): Integriertes Curriculum Naturwissenschaft. Theoretische Grundlagen und Ansätze, S. 87–93, Weinheim und Basel 1973
- Stein, B.-J. u. a.*: Risiko Kernenergie. Atomtod ohne Bombe? Berlin 1977
- Der Stern*: Nr. 13 vom 21.3.; Nr. 44 vom 24.10., 1974
- Sternglass, E.*: Schäden durch Niedrigstaktivität. In: Strohm, H. (Hrsg.): Biologische Schäden durch Atomkraftwerke und energiereiche Strahlen, S. 33–43, Hamburg 1976
- Stolz, W.*: Radioaktivität. Grundlagen, Leipzig 1976
- Stolz, W.*: Radioaktivität. Messung und Anwendung, Leipzig 1978
- Strohm, H. (Hrsg.)*: Biologische Schäden durch Atomkraftwerke und energiereiche Strahlen, Hamburg 1976
- Strohm, H. (Hrsg.)*: Friedlich in die Katastrophe, Hamburg 1977
- Sutor, B.*: Die Konzeption eines neuen Sozialkundeunterrichts für die Klassen 10–11 und die gegenwärtige Diskussion um die politische Bildung an den Gymnasien. In: Forster, H. u. a.: Curriculumtheorie und Lehrplanentwicklung, Mainz 1971
- Tagesspiegel*: vom 15.12.1977
- Taylor, G.R.*: Das Selbstmordprogramm, Ffm. 1971
- Tillmann, K.-J.*: Unterricht als soziales Erfahrungsfeld, Ffm. 1976
- Traube, K.*: Fortschritte in der Entwicklung von Schnellbrütern. In: atomwirtschaft-atomtechnik 10, S. 489–497, 1975
- Traube, K.*: Atomenergie oder Energiesparstaat? Zur Konstruktion einer falschen Alternative. In: Frankfurter Rundschau vom 4.12.80, S. 12 und vom 5.12.80, S. 10f., 1980
- Trenkler, H.*: Kosten der Bauzeitverlängerung bei Kernkraftwerken, In: atomwirtschaft-atomtechnik 5, S. 246–250, 1976
- Vetter, H.O.*: Der Deutsche Gewerkschaftsbund und die Gewerkschaft Erziehung und Wissenschaft. In: Die Deutsche Schule 66. Jg, H. 5, S. 309–313, 1974

- Voigt, D.*: Weiterentwicklung der Siedewasserreaktoren in der BRD. In: atomwirtschaft-atomtechnik 9/10, S. 488–491, 1972
- Völcker, D., Schleip, A.*: Handbuch zum Physik- und Chemieunterricht, Ffm. 1968
- Wagenschein, M.*: Zum Begriff des exemplarischen Lernens, Weinheim 1962
- Walter, H.*: Emanzipatorische Erziehung: Versuch einer allgemeinen Begriffserklärung. In: Raith, W. (Hrsg.): Handbuch zum Unterricht. Modelle emanzipatorischer Praxis, S. 9–26, Starnberg 1973
- Walz, A., Grothe, K. H.*: Welt der Physik und Chemie, Hannover 1979
- Weckesser, A. u. a.*: Bau- und Betriebserfahrungen mit Leichtwasserreaktoren in der BRD. In: atomwirtschaft-atomtechnik 9/10, 1972
- Wenzel, H.*: Lernziele im Physikunterricht, München 1978
- Weser-Kurier*: vom 21. 11. 1979
- Weser-Kurier*: vom 12. 3.; 16./17. 5.; 1981
- Wiesemes, J.*: Operatives Denken im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht. In: Schmidt, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie, S. 218–220, Hannover 1973
- Die ZEIT*: Nr. 26 vom 22. 6.; Nr. 46 vom 9. 11. 1979
- Die Zeit-Sonderdruck*: Unter der Wolke des Atoms. Sonderdruck der ZEIT aus Nr. 3, 4, 5, Hamburg 1977
- Zinnecker, J. (Hrsg.)*: Der heimliche Lehrplan, Weinheim und Basel 1975



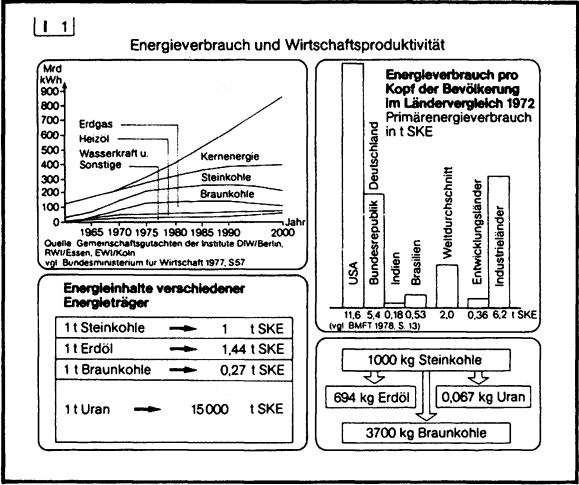
## **Anhang: Transparente, Arbeitsblätter und Tafelbilder**

Die im Unterrichtsverlauf (vgl. Kapitel IV) erwähnten Arbeitsblätter, Transparente und Tafelbilder werden hier nach Stundenkomplexen gegliedert und verkleinert dargestellt. Diese Abbildungen können als Vorlage für die Erstellung eigener Unterrichtsmaterialien dienen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die Arbeitsblätter und Transparente beim Verlag zu erwerben:

1. Joachim Kahlert, Transparente zum Thema Kernenergie. 24 zweifarbige Folien, teilweise als Aufbautransparente, Beiheft 36 S. Beltz Verlag, Weinheim 1981, ISBN 3-407-99012-X.
2. Joachim Kahlert, Arbeitsblätter zum Thema Kernenergie, 21 Kopiervorlagen, Beiheft 36 S., Beltz Original, Weinheim 1981, ISBN 3-407-99011-X.

# Arbeitsmaterialien zum Stundenkomplex I

## Transparente



Tr I.1

## Arbeitsblätter

Ursachen des steigenden Energieverbrauchs

A.1.1

Unser Leben beruht in vielfältiger Weise auf Energieverbrauch: wir heizen unsere Wohnung, wir benötigen Licht, warmes Wasser und warme Nahrung, wir kühlen Getränke oder machen Nahrungsmittel durch Gefrieren haltbar, wir fahren Auto oder Bahn. Wir verbrauchen aber auch Energie, wenn wir es gar nicht unmittelbar bemerken, denn man muß in Industriellen oder handwerklichen Betrieben zerkleinern, transportieren, erhitzen, röhren, kühlen, schmelzen, verdampfen, pressen und vieles mehr, um z.B. Brot, Papier, Spielzeug, Autos, Möbel, Plastikartikel, Häuser, Medikamente usw. herzustellen. Unsere Gesellschaft hat sich längst auf diesen Energieverbrauch eingestellt. Nicht nur unser Komfort, auch viele notwendige Fortschritte im sozialen Bereich sind mit diesem Energieverbrauch verknüpft und damit auf eine ausreichende Energieversorgung angewiesen. Noch vor 200 Jahren wurde praktisch nur mit Holz oder Holzkohle geheizt und gekocht, Mühlen nutzten Wind- und Wasserkraft, um Korn zu mahlen, Öl wurde höchstens in Lampen verwendet. Menschliche und tierische Muskelkraft waren notwendig, um zu pflügen, Waren zu transportieren oder Metall zu verformen. Die Änderung unserer Lebensverhältnisse seitdem, d.h. unser höherer Lebensstandard, ist wesentlich bedingt durch die intensive Nutzung fossiler Energiequellen: zunächst Kohle, dann immer mehr Erdöl und in den allerletzten Jahren Erdgas.

(aus: Der Bundesminister für Forschung und Technologie: Kernenergie: eine Störgrößeninformation, Bonn 1976, S. 8)

Arbeitsauftrag: Arbeite aus dem Text die Ursachen für den wachsenden Energieverbrauch in der BRD heraus und trage deine Ergebnisse auf dem Ergebnisbogen A.1.4 im Teil I ein!

Der Bedarf an elektrischem Strom in der Bundesrepublik

A.1.2

Der Verbrauch von elektrischem Strom in der BRD nach Verbrauchergruppen

Mrd. kW Std.

Gesamtverbrauch

1970

112,5

78,8

7,9

199,2

1974

138,0

111,4

9,0

258,4

1975

125,5

118,8

8,9

253,0

Industrie

Haushalt und Kleinverbraucher

Verkehr

(vgl. Bundesaggregatnachrichte 8-570 1977, S. 7 und Bundesministerium für Wirtschaft 1979, S. 39)

Elektrogeräte in Privathaushalten

Bestand von je 10 Haushalten an:

1950

1960

1970

Gefriergeräten

Waschmaschinen

Kühlschränken

Heißwassergeräten

Fernseher

Elektroherden

(vgl. Gerwin 1977, S. 19)

Arbeitsauftrag: Vergleiche die Entwicklung des Anteils der Privathaushalte am elektrischen Stromverbrauch mit der Zunahme des Bestands an Elektrogeräten in den Privathaushalten!

Ergänze die Tabelle im Teil 2 des Arbeitsblattes A.1.4

A.1.1

A.1.2



Tafelbilder

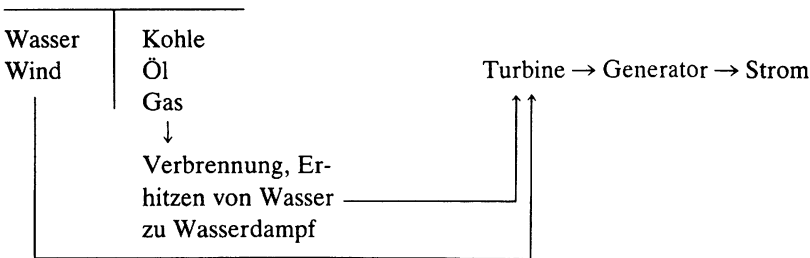
Tb I.1:

Ursachen einer Energieversorgungslücke	Folgen einer Energieversorgungslücke
<ul style="list-style-type: none"><li>– Erdölmangel</li><li>– Ölboykott</li><li>– außergewöhnlich hoher Energieverbrauch</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Sparmaßnahmen für den privaten Energieverbrauch</li><li>– Verkehrseinschränkung</li><li>– Produktionseinschränkung, Gefahr von Kurzarbeit und Arbeitslosigkeit</li></ul>

Tb I.2:

Energieumwandlung führt zum elektrischen Strom

Primärenergieträger



Tb I.3:

Der Energieverbrauch ist bisher ständig angestiegen.

Eine besonders günstige Energieform ist der elektrische Strom.

Elektrischer Strom wird u. a. durch Verbrennung von Primärenergieträgern bereitgestellt.

Fiktive Rundfunksendung:

(darzubieten als Tonbandaufnahme oder Lehrervortrag)

Erster Sprecher:

„Und nun etwas Nostalgisches. Die Beatles mit ‚A hard days night‘“  
ca. 30 Sekunden Anspielen der Musik

Zweiter Sprecher:

„Achtung, Achtung. Wir unterbrechen jetzt unsere Sendung für eine wichtige Durchsage der Gemeindeverwaltungen in unserem Sendegebiet.  
Wie bereits gestern befürchtet wurde, hat sich der Versorgungsengpaß für die Energie zugespitzt.“

Die anhaltende, für diese Jahreszeit ungewöhnliche Kälte und der seit dem Wochenende andauernde Engpaß in der Versorgung der Privathaushalte mit Heizöl führten zu einem dramatischen Anstieg des Stromverbrauchs für elektrische Heizkörper und zu einem Zusammenbruch der Stromversorgung im Sendegebiet.

Um einen Totalausfall von Verkehr und Produktion abzuwehren und die Notversorgung der Krankenhäuser zu sichern, treten ab heute nachmittag 16.00 Uhr die vom Innenministerium angeordneten Energiesparmaßnahmen in Kraft: Die elektrisch betriebenen öffentlichen Verkehrsmittel fahren nach einem Sonderfahrplan, der in allen Kartenvorverkaufsstellen zu erhalten ist. Den Privathaushalten wird bis auf weiteres untersagt, elektrische Großgeräte wie Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspülmaschinen in Betrieb zu nehmen. Im Stahlwerk Eisenhauer und in den Lackmusser Chemiewerken GmbH wird mit Beginn der heutigen Nachtschicht Kurzarbeit eingeführt.

Soweit die Durchsage der Kommunalverwaltungen. Wir informieren Sie stündlich im Anschluß an die Nachrichten über die weiteren Entwicklungen.“

# Arbeitsmaterialien zum Stundenkomplex II

## Transparente


II 1a | II 1b

Der radioaktive Zerfall

**$\alpha$ -Zerfall**

○ Proton

○ Neutron




${}^{226}_{88}\text{Radium} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Radon} + {}^4_2\text{He}$

Ein Neutron zerfällt in ein Proton und ein Elektron

**$\beta$ -Zerfall**


• Elektron ( ${}^0_{-1}\text{e}$ )




${}^{40}_{19}\text{Kalium} \rightarrow {}^{40}_{20}\text{Kalzium} + {}^0_{-1}\text{e}$

Ein Neutron zerfällt in ein Proton und ein Elektron

**$\gamma$ -Zerfall**



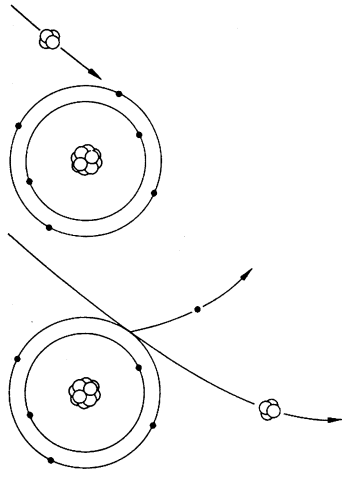


Ausstrahlung von elektromagnetischen Wellen

Tr II.1a,b

II 2a | II 2b

Ionisation eines Atoms durch  $\alpha$ -Strahlung



Tr II.2a,b

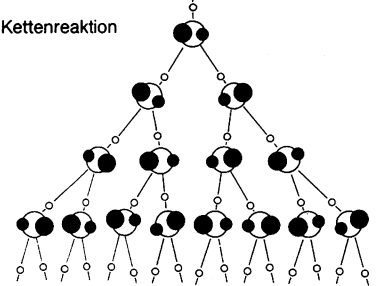
II 3a | II 3b

Atomkernspaltung von U 235

${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{140}_{55}\text{Cs} + {}^{94}_{37}\text{Rb} + 2{}^1_0\text{n} + \text{E}$

Uran + 1 Neutron  $\rightarrow$  Caesium + Rubidium + 2 Neutronen + Energie

Kettenreaktion



Tr II.3a,b

149

# Arbeitsblätter

Aufbau von Atomen

A. II. 1

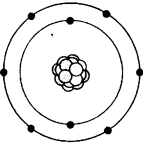
Die Zeichnung stellt das Element Sauerstoff (O) in einem einfachen Modell dar.

Gib an:  
die Massenzahl A \_\_\_\_\_  
die Ladungszahl Z (Ordnungszahl) \_\_\_\_\_

● Elektron

○ Proton

○ Neutron



Zeichne auf die gleiche Weise das Modell eines Stickstoffatoms!

$^{14}_7\text{N}$

Sauerstoff (8 Protonen)	O	Isotop	O 16	O 17	O 18
		Neutronenzahl			
Uran (92 Protonen)	U	Isotop	U 238	U 235	U 234
		Neutronenzahl			

Arbeitsauftrag: Gib von den Isotopen des Urans und des Sauerstoffs die Zahl der Neutronen an!

A II.1

Atomkernumwandlungen

A. II. 2

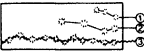
Teil 1

Plutonium  $^{241}_{94}\text{Pu}$  → Americium  $^{241}_{95}\text{Am}$  → Neptunium  $^{237}_{93}\text{Np}$  → Protactinium  $^{233}_{91}\text{Pa}$  → Uran  $^{233}_{92}\text{U} \dots$

Zerfallsart \_\_\_\_\_

Arbeitsauftrag: Gib für die hier aufgeführten Glieder der Zerfallsreihe von Plutonium die jeweilige Zerfallsart an!

Teil 2



① \_\_\_\_\_

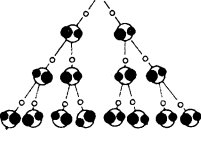
② \_\_\_\_\_

③ \_\_\_\_\_

Arbeitsauftrag: Die Zeichnung stellt modelhaft das Eindringen von radioaktiver Strahlung in Materie dar. Mit deinen Kenntnissen über die Wirkung der Strahlen auf Materie gelangt es dir, die jeweilige Strahlungsart zu bestimmen.

Teil 3

Schematische Darstellung einer Kettenreaktion



Trümmerkerne  
Neutronen

K 1

K 1

K 1

Arbeitsauftrag: Gib für die schematisch gezeichnete Kettenreaktion an, ob der Vermehrungsfaktor k größer, kleiner oder gleich 1 ist!

A II.2

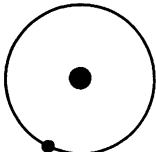
## Tafelbilder

Tb II.1a-c: Atombauprinzip nach dem Modell von Bohr

Atombau nach einem einfachen Atommodell

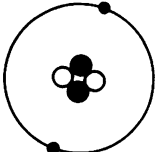
a

Wasserstoff



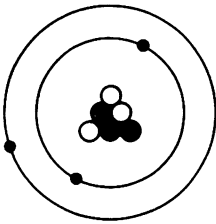
b

Helium



c

Lithium



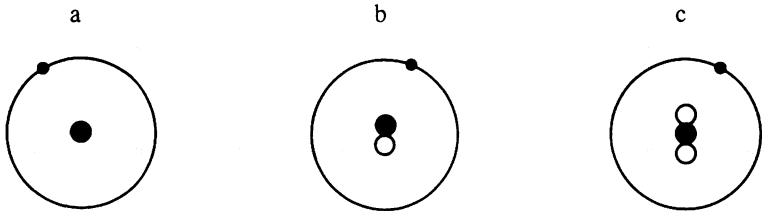
Elektron ●

Neutron ○

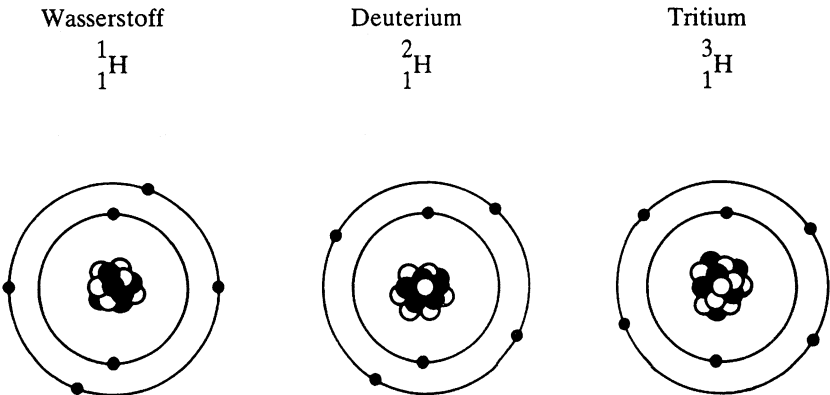
Proton ●

150

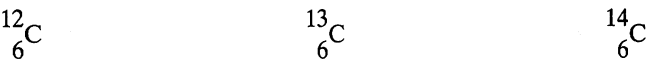
Tb II.2a–c: Isotope des Wasserstoffs und Kohlenstoffs



Isotope des Wasserstoffs:



Isotope des Kohlenstoffs:





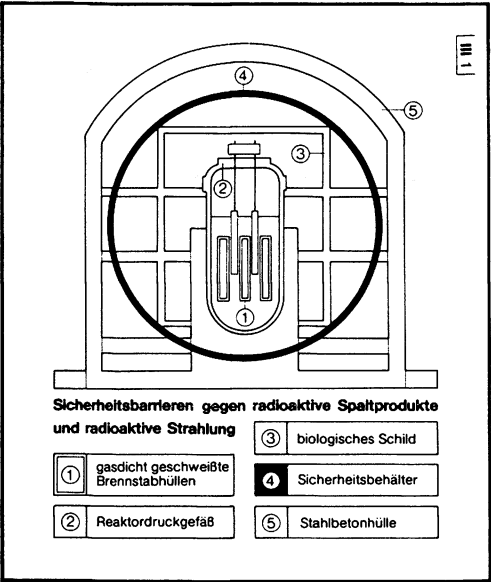
(a) Umwandlungsprozesse des Atomkerns

Zerfallsart	Veränderung im Atomkern	Art der ausgeschleuderten Strahlung
(b) $\alpha$ -Zerfall	Abnahme der Massenzahl um 4 Abnahme der Ladungszahl um 2	Heliumkerne ${}^4_2\text{He}$
(c) $\beta$ -Zerfall	Massenzahl bleibt konstant Zunahme der Ladungszahl um 1	Elektronen (ein Neutron zerfällt in ein Elektron und ein Proton)
(d) $\gamma$ -Zerfall	keine Veränderung	elektromagnetische Wellen
Wirkung auf Materie		Abschirmungsmöglichkeit
$\alpha$ -Zerfall	hohe Ionisationsfähigkeit geringe Eindringfähigkeit	Kleidung, obere Hautschicht, dünne Pappe
$\beta$ -Zerfall	geringe Ionisationsfähigkeit mittlere Eindringtiefe	Haut, 1 mm dicke Bleiplatte
$\gamma$ -Zerfall	hohe Ionisationsfähigkeit und große Eindringtiefe	9 cm dicke Bleiplatte
(e)		(f)

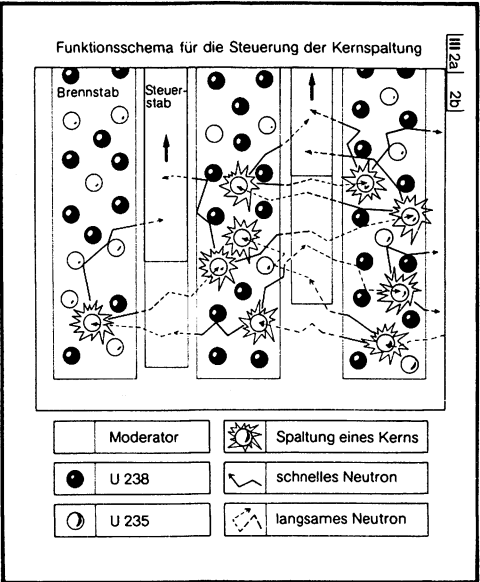
Atomkernänderung	
radioaktiver Zerfall	Kernspaltung
selbständige Veränderung des Kerns von außen nicht steuerbar Radioaktivität als Strahlung geringe Veränderung der Kernmasse Freisetzung kleiner Energiemengen	künstliche Veränderung des Atomkerns von außen eingeleitet und steuerbar Entstehung von radioaktiv strahlenden Trümmern Teilung des Kerns im Verhältnis 2 : 3 plötzliche Freisetzung großer Energiemengen

# Arbeitsmaterial zum Stundenkomplex III

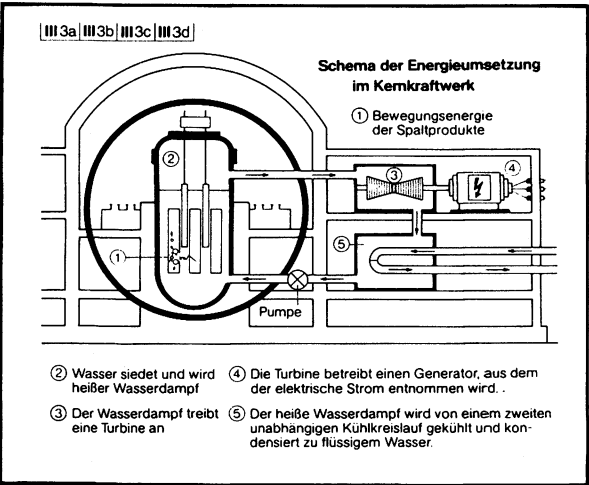
## Transparente



Tr III.1



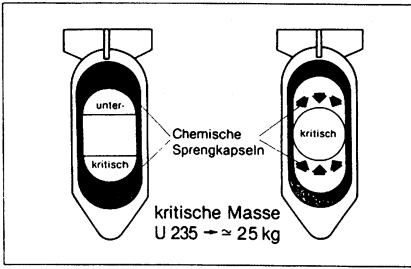
Tr III.2a,b



Tr III.3a–d

Funktionsprinzip einer Kernspaltbombe

A. III. 1



vor der Zündung: \_\_\_\_\_

nach der Zündung: \_\_\_\_\_

Arbeitsauftrag: Beschreibe jeweils den Zustand des spaltbaren Materials

A III.1

Steuerung der Kettenreaktion im Kernkraftwerk

A. III. 2

Neutronen haben auf die verschiedenen Uransotope eine unterschiedliche Wirkung. Schnell fliegende Neutronen prallen in der Regel beim Zusammenstoß mit den Kernen U-235 und U-238 von diesen ab und verlangsamen dabei die Geschwindigkeit (Bild 1).

Diese Neutronen mit mittlerer Geschwindigkeit werden beim Zusammenstoß mit den Kernen von U-238 eingefangen. Sie gehen dann für die Spaltung verloren (Bild 2).

Nur Neutronen mit geringer Geschwindigkeit eignen sich für die Spaltung von Urankernen. Diese langsamen Neutronen prallen an Kernen von U-238 ab und spalten die Kerne von U-235 (Bild 3).

Um den Einfang von Neutronen gering zu halten, werden die schnellen Neutronen abgebremst. Die Brennelemente, in denen das Uran eingelagert ist, sind vom Wasser umspült. Verleiht ein Neutron ein Brennelement, so stoßt es mit Wassermolekülen zusammen und verliert dabei Geschwindigkeit. Nach genügend häufigen Zusammenstoßen ist es so langsam, daß es von U-238 nicht mehr eingefangen werden kann. Es ist dann in der Lage, einen U-235 Kern zu spalten (Bild 4). Der Stoff, der im Reaktor als Bremsflüssigkeit dient, heißt Moderator.

Um die Kernspaltung zu steuern, werden zwischen die Brennelemente sogenannte Steuerstäbe eingelassen. Sie bestehen aus Borstahl oder Cadmium. Stoffe, die leicht Neutronen einfangen können und selber dabei nicht gespalten werden.

○ U-235    ● U-238    ○ Wassermolekül

Neutronenbahn

Arbeitsauftrag: Beschreibe das unterschiedliche Verhalten verschieden schneller Neutronen beim Zusammenstoß mit den Urankernen U-235 und U-238! Trage deine Ergebnisse in die Tabelle im Teil 1 des Arbeitsblattes A. III. 5 ein!

A III.2

Sicherheitsbarrieren gegen radioaktive Spaltprodukte und radioaktive Strahlen

A. III. 3

Bei der Spaltung von Uran-Kernen im Atomreaktor entstehen Spaltprodukte, die stark radioaktiv sind. Sie dürfen daher auf keinen Fall an die Umwelt gelangen. Die Spaltprodukte sind fest, flüssig oder gasförmig. Ein Teil von ihnen wird in der gasdicht geschweißten Hülle, die den Brennstoff umgibt, aufgefangen. Allerdings entstehen in den Brennstäben mit der Zeit ganz feine Risse, durch die ein Teil der Spaltprodukte entweichen kann. Diese müssen von dem Reaktor Druckgefäß zurückgehalten werden. Das Reaktor Druckgefäß ist ein etwa 14 cm dicker Stahlbehälter und umschließt alle Brennstäbe, die Steueranordnung und das die Brennstäbe umfließende Wasser. Im Kernkraftwerk Biblis (Block A) hat das Reaktor Druckgefäß einen Durchmesser von 5 m. Das Reaktor Druckgefäß wird von einem Stahlbetonmantel eingeschlossen, der die Aufgabe hat, die radioaktive Strahlung zurückzuhalten und die bei der Kernspaltung nicht verwendeten Neutronen aufzufangen. Da es so die Umwelt vor gefährlicher Strahlung schützen soll, nennt man den Stahlbetonmantel auch biologisches Schild. Das Ganze befindet sich in einer kugelförmigen Stahlhülle. Dieser Sicherheitsbehälter ist zwischen 25-30 mm dick und hat einen Durchmesser von 25-30 m. Genauso wie die ihn umschließende Stahlbetonhülle hat er die Aufgabe, das Reaktorinnere vor Zerstörungen von außen (Explosionen, Flugzeugabsturz) zu schützen.

Arbeitsauftrag: Gib im Teil 2 des Arbeitsblattes A. III. 5 Namen und Funktion der Schutzmaßnahmen gegen das Ausstrahlen von Radioaktivität an!

A III.3

Energieumsetzung im Kernkraftwerk

A. III. 4

Bei der Kernspaltung entstehen Spaltstoffe, die mit großer Geschwindigkeit auseinanderfliegen (Bewegungsenergie der Spaltprodukte). Sie stoßen auf die Innenwände der Metallhüllen, die den Reaktor Brennstoff umgeben. Die Atome der Metallhüllen geraten in Schwingungen.

Da die Brennstoffhüllen von Wasser umspült sind, geraten auch die Wassermoleküle in eine stärkere Bewegung. Eine größere Geschwindigkeit der Moleküle in einer Flüssigkeit weist darauf hin, daß die Flüssigkeit erhitzt wird (Wärmeenergie des Wassers).

Das Wasser wird so heiß, daß es zu kochen beginnt, die Wassermoleküle verlassen den Verband. Das Wasser verdampft (Bewegungsenergie der Wassermoleküle).

Der Wasserdampf wird durch Rohrleitungen auf eine Turbinen geleitet und treibt diese an (Bewegungsenergie der Turbinen). Die Turbinen betreiben wiederum einen Generator, aus dem der elektrische Strom entnommen werden kann (elektrische Energie aus dem Generator).

Nachdem der Wasserdampf die Turbinen angetrieben hat, wird er wieder abgekühlt. Das Wasser kondensiert, d.h. es wird wieder flüssig. Nun pumpt eine Pumpe das flüssige, abgekühlte Wasser zurück an die Brennstäbe, wo es erneut aufgeheizt wird.

Arbeitsauftrag: Gib die Energieumwandlungskette im Atomkraftwerk im Teil 3 von A. III. 5 an!

A III.4

Naturwissenschaftlich-technische Grundlagen der kontrollierten Kettenreaktion im Kernkraftwerk		A. III.5															
<b>Teil 1. Steuerung der Kettenreaktion im Reaktorkern (core)</b>																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;">Wirkung der Neutronen beim Zusammenstoß mit den Atomkernen U 238 und U 235</td> </tr> <tr> <td style="width: 30%; padding: 2px;">Neutronengeschwindigkeit</td> <td style="width: 35%; padding: 2px;">U 238</td> <td style="width: 35%; padding: 2px;">U 235</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">schnell</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">mittelschnell</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">langsam</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Wirkung der Neutronen beim Zusammenstoß mit den Atomkernen U 238 und U 235			Neutronengeschwindigkeit	U 238	U 235	schnell			mittelschnell			langsam			Bauteile des Reaktorkerns 1. _____ 2. _____ 3. _____	
Wirkung der Neutronen beim Zusammenstoß mit den Atomkernen U 238 und U 235																	
Neutronengeschwindigkeit	U 238	U 235															
schnell																	
mittelschnell																	
langsam																	
Funktion des Moderators: _____ Funktion der Steuerstäbe: _____																	
<b>Teil 2. Reaktorbauteile für die Zurückhaltung der Spaltprodukte</b>																	
Bauteil	Funktion																
a) _____																	
b) _____																	
c) _____																	
d) _____																	
e) _____																	
<b>Teil 3. Energieumsetzung im Reaktor</b>																	
<b>Arbeitsauftrag:</b> Bearbeite mit Hilfe der Arbeitsblätter A III.2 (für Teil 1), A III.3 (für Teil 2) und A III.4 (für Teil 3) dieses Arbeitsblatt!																	

**A III.5**

Funktionsschema eines Kernkraftwerks		A III.6
<b>Daten des Kernkraftwerks Krümmel (1300 MW)</b>		
eingelagertes Uran:	155,8 t	
Zahl der Brennelemente:	840	
Zahl der Brennstäbe pro Element:	63	
Höhe des Reaktordruckgefäßes:	22,38 m	
Wanddicke des Reaktordruckgefäßes:	16,7 cm	
<small>Quelle: Kernkraftwerk Krümmel GmbH, Kernkraftwerk Krümmel Geesthacht</small>		
<b>Arbeitsauftrag:</b> Gib im folgenden die Namen der Reaktorbauteile an (dabei kannst du das Arbeitsblatt A III.5 als Hilfe benutzen!)		
A _____	a) _____	
B _____	b) _____	
C _____	c) _____	
D _____	d) _____	
E _____	e) _____	

**A III.6**

## Tafelbilder

### Tb III.1

kontrollierte Kettenreaktion  
im Atomkraftwerk

Vermehrungsfaktor gleich 1  
Nutzung der Energie als elek-  
trischen Strom  
Rückhaltung der radioaktiven  
Spaltprodukte  
gesteuerte Freisetzung der  
Energie

unkontrollierte Ketten-  
reaktion in der Atombombe

Vermehrungsfaktor größer als 1  
Energie als Mittel der  
Zerstörung  
Freisetzung der radioaktiven  
Spaltprodukte  
ungesteuerte, plötzliche  
Freisetzung der Energie

### Tb III.2

Technische Probleme der kontrollierten Kettenreaktion

- \_\_\_\_\_ → Energieumwandlung
- \_\_\_\_\_ → Steuerung der Kettenreaktion
- \_\_\_\_\_ → Sicherheitseinrichtungen gegen die Abgabe von Radioaktivität

# Arbeitsmaterialien zum Stundenkomplex IV

## Transparente

**Aufnahme radioaktiver Teilchen in den Körper**

Aufnahme durch Nahrung und Atemluft

**Jod 129**  
in der Schilddrüse

**Strontium 90**  
in den Knochen

**Caesium 137**  
im ganzen Körper

IV.1a  
IV.1b

Tr IV.1a,b

## Arbeitsblätter

Radioaktivitätsabgabe bei Normalbetrieb

A IV. 1

Jod 129 Strontium 90

Tritium Krypton 85

Abgabe über den Luftfilter

Abgabe über den Wasserfilter

Jod 129 Caesium 137 Strontium 90

**Arbeitsauftrag:** Erläutere, warum über Abluft und Abwasser radioaktive Teilchen an die Außenwelt gegeben werden:

Abwasser: \_\_\_\_\_

Abluft: \_\_\_\_\_

A IV.1

Wirkung radioaktiver Strahlung auf den Menschen

A. IV.2

Unterschiedliche Strahlungsarten haben auf die durchstrahlte Materie verschiedene Wirkungen.

	Durchdringung von Materie	Ionisationswirkung	Eindringen in den Körper
	α		
	β		
	γ		

Um die Strahlen vergleichbar zu machen, wird ihre biologische Wirkung mit der von Röntgenstrahlen verglichen. α-Strahlung hat z. B. die 10-fache Wirkung von Röntgenstrahlen der gleichen Stärke. Die Maßeinheit für die biologische Wirksamkeit ist das „rem“ (1 rem = 1000 mrem).

**Auswirkung radioaktiver Strahlendosen auf den Menschen**

kaum Überlebensmöglichkeiten	ab 600 rem
Zunahme Sterbefälle	bis 600 rem
Unfruchtbarkeit, Erbkrankheiten, Haarausfall, Erblindung möglich	bis 200 rem
vollständige Veränderungen im Blutbild	bis 100 rem
keine sofort erkennbare Wirkung	bis 20 rem

vgl. Schulz, H.-G. 1977, S. 43)

**Strahlengefährdung bejaht**

Auch Kernkraft-Befürworter bestätigen hohes Krebsrisiko

Von unserem Korrespondenten Eckart Spoo

HANNOVER, 2. April. Nicht nur Kritiker, sondern auch Befürworter des geplanten nuklearen Entsorgungszentrums haben bei der Gießerei-Anhörung am Montag in Hannover bestätigt, daß schon geringe, nach den gegenwärtigen Strahlenschutzbestimmungen der Bundesrepublik zulässige radioaktive Emissionen von Atomanlagen die dort beschäftigten Menschen einem erhöhten Krebsrisiko aussetzen.

Der Essener Strahlenbiologe Professor Christian Streffer sagte, es gebe keine völlig ungefährliche Strahlendosis. Der US-Physiker und Chemiker Professor Bernhard Cohen (Pittsburgh) legte eine Rechnung vor, wonach sich die Lebenserwartung von Beschäftigten in Atomanlagen durchschnittlich um 30 Tage verringere; zum Vergleich erwähnte Cohen die Arbeiter in Abgaswerken, bei denen die Lebenserwartung durch Unfallgefahren um bis zu 300 Tage verringert sei.

Der Geschäftsführer der Karlsruher Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (DWK), Walter Schüller, äußerte die Überzeugung, man müsse ein erhöhtes Krebsrisiko auf sich nehmen, wenn es darum gehe, Menschenleben zu retten. Schüller stellte in diesem Zusammenhang die Frage: „Wie viel ist uns die Energiegewinnung wert?“ Streffer, Cohen und Schüller sitzen bei der Anhörung auf der Befürworterseite. Zuvor hatten auf der Kritikerseite die Strahlenmediziner Karl Morgan (Georgia Institute of Technology) und Eike Stewart (Universität Birmingham) entsprechende Forschungsergebnisse präsentiert. Insbesondere die Ergebnisse von Untersuchungen an Beschäftigten in einem Werk der US-Nuklearindustrie in Hanford.

(aus: Frankfurter Rundschau, vom 2. 4. 78, S. 1)

A IV.2

## Die Radioaktivität eines Atomkraftwerks – eine Gefahr? Zwei Meinungen

A.IV.3

### Kernkraftwerksbefürworter

„In der neuen Strahlenschutz-Verordnung ist der Grenzwert für die Umgebungsbelastung mit 30 Mikriven (mrem) pro Jahr festgelegt. Grenzwert bedeutet aber nicht, daß man ihn voll ausschöpfen darf. Bis zu 30 mrem pro Jahr läßt die neue Strahlenschutzverordnung für die Umgebungsbelastung durch Luft und Wasser aus kerntechnischen Anlagen maximal zu. Doch die Erlangungswerte bei Kernkraftwerken liegen deutlich darunter. Zum Vergleich: Fernsehen bringt 1 mrem pro Jahr, eine Flugreise 2 Mrd von einem Holzhaus in ein Betongebäude umzieht, nimmt eine jährliche Mehrbelastung von 20 mrem in Kauf. Mit der Nahrung nehmen wir etwa 25 mrem pro Jahr auf. Insgesamt erreicht die jährliche natürliche Strahlung in der Bundesrepublik Deutschland im Mittel 110 mrem. Seit jeher ist ihr der Mensch ausgesetzt. Und in bestimmten Fällen sogar noch viel höheren Strahlendosen: z.B. bei einer Röntgendiagnose können es bis zu 500 mrem auf einmal sein. Wieviel Strahlung eine kerntechnische Anlage abgeben darf, ist im Atomrecht eindeutig fixiert. Doch die Praxis zeigt, daß die heutigen kerntechnischen Anlagen die gesetzlich zulässigen Werte weit unterschreiten. Was heute gemessen wird, ist ein verschwindend geringer Strahlungsanteil im Gegensatz zur natürlichen Strahlungsbelastung. Das beweist: Die Technik ist absolut in der Lage, die Umwelt vor unzulässig hoher Strahlung zu schützen.“

(aus: Prohibitgesellschaft Wiederaufbereitung von Kernbrennstoffen 1976, S. 21)

### Kernkraftwerksgegner

„Jede radioaktive Strahlung, und sei sie noch so klein, erzeugt ihren Anteil an Krebs, un-reparierbaren Schäden an den Genen mit den Folgen in der Zukunft und verkürzt die Lebenserwartung. Somit verursachen auch jedes Kernkraftwerk, jede Wiederaufbereitungsanlage und der nukleare Kreislauf schon im Normalbetrieb Schäden an der Gesundheit. Das erste Mal wurde dieses Faktum offiziell bestätigt durch die National Academy of Sciences, die feststellte, daß durch die Ausnützung der Toleranzwerte jährlich mit ca. 3000 bis 15000 zusätzlichen Krebsfällen in den USA gerechnet werden mußte. Die Wirkungen der Niedrigstrahlung auf Nahrungsnetze, Zeugungssterilität etc. sind kaum bekannt. Das Committee for Environmental Conservation, die Royal Society of Arts und das Institut of Fuel stellten hierzu in einem Report fest: Es ist schwer, den Zusammenhang zwischen verschiedenen Krankheiten und der Niedrigstrahlung fest-zustellen. Wenn bei einem Fall ein zusätzlicher Fall an Krebs unter 1000 Einwohnern auf-tritt, so bedeutet dies 50000 zusätzliche Krebsfälle allein für Großbritannien. Mittlerweile häufen sich die wissenschaftlichen Berichte, die von einer höheren Empfind-lichkeit eines Embryos im Anfangsstadium und Teilen der Bevölkerung sprechen, die um das 100-1000-fache höher liegt. Auch die Resistenz gegen Krankheiten soll durch Nie-drigstrahlung stark herabgesetzt werden.“

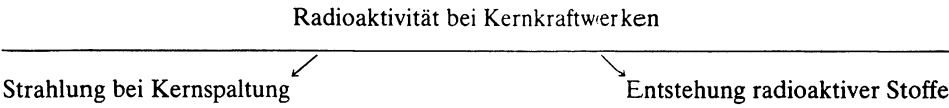
(aus: Strom 1976, S. 9)

**Arbeitsauftrag:** Schreibe aus den beiden Texten die drei dir am wichtigsten erscheinenden Argumente heraus!

A.IV.3

**Tafelbilder**

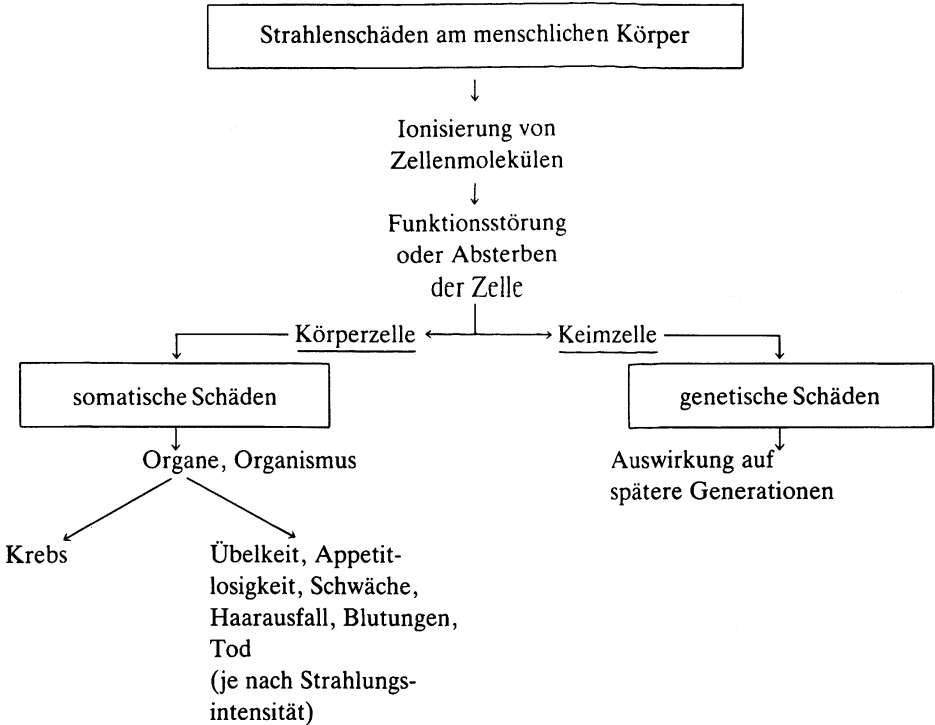
*Tb IV.1*



*Tb IV.2*

Strahlungsart	Eindringfähigkeit in den Körper
$\alpha$ -Strahlung	obere Hautregionen
$\beta$ -Strahlung	tiefer Hautregionen
$\gamma$ -Strahlung	Durchstrahlung des ganzen Körpers

*Tb IV.3*





*Tb IV.4*

Die Radioaktivität eines KKWs bei Normalbetrieb – Gefahr für die menschliche Gesundheit?

Kernkraftwerksbefürworter

- gesetzlich geregelte Höchstgrenze verhindert biologische Schäden
- abgegebene Strahlendosis ist sehr gering
- gegenüber der natürlichen Umweltradioaktivität ist die Radioaktivitätsabgabe eines KKWs vernachlässigbar

Kernkraftwerksgegner

- bei Ausschöpfung der Höchstgrenze muß mit 3000–15000 zusätzlichen Krebstoten gerechnet werden (USA)
- auch kleinste Dosen können biologische Schäden verursachen
- radioaktive Spaltprodukte wirken aufgrund ihres Materiecharakters über sehr lange Zeiträume

*Tb IV.5*

Anreicherungs-pfad für radioaktives Jod

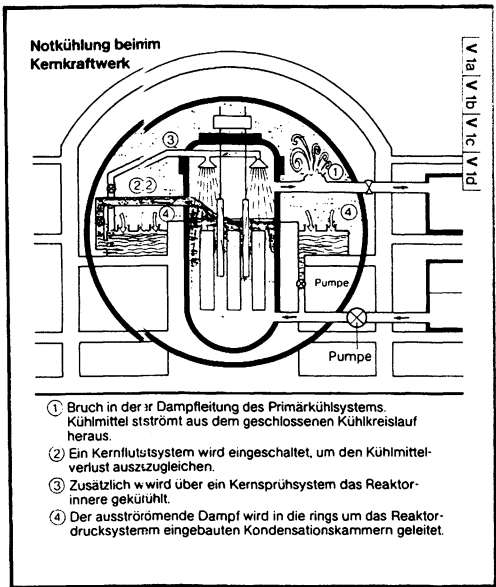
Höhe der Konzentration



- Verzehr der Milch durch den Menschen
- Anreicherung von Jod in der Kuhmilch
- Verzehr von Gras durch die Kuh
- Ablagerung von radioaktivem Jod im Gras
- Abgabe von radioaktivem Jod durch das Kernkraftwerk

Arbeitsmaterialien zum Stundenkomplex V

Transparentte



Tr V. 1a-d

Störfallentwicklung in Harrisburg			
Zeit	Technische Fehlfunktion	Störfallentwicklung	menschliche Fehlverhalten
14 Tage vorher			nach Wartungsarbeiten bleiben Ventile der Hilfszählung geschlossen
28.3.79 4.00 Uhr	Blockade eines Ventils im Sekundärkühlkreislauf	Anstieg des Drucks im Primärkühlkreislauf → Öffnung eines Ventils im Primärkühlkreislauf zum Druckausgleich → Normaldruck → Reaktorschnellabschaltung	Fehlermeldung → Fehlermeldung wird tagelang übersehen
3-6 s später	Ventil des Primärkühlkreislaufs besteht fehlerhaft geöffnet	Verlust von Kühlmittel aus dem Primärkühlkreislauf → Hilfskühlung für den Sekundärkühlkreislauf schaltet sich ein	↓
12-15 s später		Hitzeanstieg im Primärkühlkreislauf u. anhaltend. Kühlmittelverlust → Einsetzen d. Notkühlsystems	↓
2 min	falsche Anzeig. d. Kühlmittelstands im Primärkühlkreislauf	Weiterer Hitzeanstieg weiterer Kühlmittelverlust	↓
4 min	Blasch als ausreichende Kühlung vor Tank zum Auffangen des herausströmenden Kühlmittels platzt		Übersehen der falschen Ventilstellung im Primärkühlkreislauf
15 min	Pumpen im des Primärkühlkreislaufs arbeiten in unregelmäßig	Teile der Brennelemente sind nicht mehr gekühlt	Abschalten der Irtkühlung um vermeintlichen Überdruck zu verhindern
1 Std.		teilweises Schmelzen der Brennelemente	Abschalten der Pumpen zur Vermeidung v. Implosackagen
5 min	radioaktiviertes Kühlmittel strömt in den Sicherheitsbehälter	→ Reaktion des geschmolzenen Metalls mit Wasser	
2 Std.	Radioaktivitätsabgabe an die Umgebung	→ Bildung einer explosiven Wasserstoffblase	
6 min		→ Behinderung d. Brennelementenkühlung durch d. Wasserstoffblase	

Tr V. 2a-c

Meldungen über Unfälle in Kernkraftwerken	A. V. 1
<p><b>Kernkraftwerk stillgelegt</b></p> <p>NECKARWESTHEIM, 12. November (dpa). In dem vor einhalb Jahren in Betrieb genommenen Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar-GenBib in Neckarwestheim (Kreis Heilbronn) hat ein Störfall, eine fünfwöchige Stilllegung vom 21. September bis 27. Oktober notwendig gemacht. Wie ein Sprecher des Kraftwerks erklärte, hatte bei einer Funktionsprüfung ein Sicherheitsventil angesprochen. Die Ursache dafür habe lange Zeit nicht geklärt werden können. Der Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz (BBU) Karlsruhe, der am Freitag auf diesen Störfall aufmerksam gemacht hatte, erklärte dazu, das Abschalten der Anlage sei dadurch erzwungen worden, daß ein Reaktor beim Anfahren „unverwartet schnell kritisch wurde“. Der Sprecher des Kraftwerks wies diese Darstellung zurück.</p> <p>(aus: Frankfurter Rundschau vom 14.11.77 S. 4)</p>	<p><b>Reaktor dreimal abgeschaltet</b></p> <p>an KANNOVER, 4. April. Das Atomkraftwerk Untermeyer in Zesshamm, das im September 1976 in Betrieb genommen wurde, mußte seither bereits dreimal wegen technischer Pannen abgeschaltet werden. Wie die Nordwestdeutschen Kraftwerke (NWK) auf Anfrage der FR berichteten, trat an einer Pumpe für den Kühlkreislauf ein Motorschaden auf, bei dessen Reparatur ein Mitarbeiter der Kraftwerksunion (KFWU) schwer verletzt wurde. Ein zweites Mal wurde der Reaktor wegen einer undichten Stelle an einer Dampfleitung abgeschaltet. Anlaß zur dritten außerplanmäßigen Abschaltung war ein Lock an einer Leitung des Speisewassersystems. Während dieser dritten Abschaltung wurde auch ein weiterer Schaden an der Dampfleitung festgestellt.</p> <p>(aus: Frankfurter Rundschau vom 5. 4. 79, S. 4)</p>
<p><b>Radioaktivität bei Explosion in US-Kernkraftwerk freigesetzt</b></p> <p>WATERLOO (AP dpa). Aus dem Gelände des Atomkraftwerks Millstone Point bei Waterloo im US-Bundesstaat Connecticut hat am Dienstag eine Explosion die Tür eines Gebäudes oberhalb eines Arbeiter lagers zerstört und Radioaktivität in umliegender Meeres freigesetzt. Ein Sprecher des Werks erklärte, eine gewöhnliche Gasexplosion der Ölfeldheizung sei jedoch nicht gewesen. Drei Stunden zuvor hatte sich schon eine kleinere Explosion auf dem Gelände ereignet. Nach Darstellung eines Sprechers ereignete sich die Explosion an ungeklärter Ursache bei einem demontierten Ventilator, bei dem radioaktives Material durch Heißluft getrieben wird. Das Kernkraftwerk sollte nach dem Taglich seinen Betrieb able.</p> <p>(aus: Der Tagesspiegel vom 15. 12. 77 S. 1)</p>	<p><b>Radioaktivität in Fessenheim</b></p> <p>PARIS, 19. Mai (dpa). Das Lock im französischen Kernkraftwerk Fessenheim, aus dem stündlich zehn Liter radioaktives Wasser aus dem gegenwärtigen Primärkreislauf in den Sekundärkreislauf fließen, ist am Dienstag noch nicht gefunden worden. Nach Angaben der staatlichen Elektrizitätsgesellschaft EDF soll keine Verursachung Gefahr der Atmosphäre durch radioaktive Dämpfe bestehen. Das Wasser des normalerweise nicht radioaktiven Sekundärkreislaufs wird weiterhin in den Rhein abgeleitet. Die Kraftwerksleitung hofft, den Reaktor wegen des Zwischenfalls nicht vor der für August vorgesehenen Routinekontrolle abschalten zu müssen.</p> <p>(aus: Frankfurter Rundschau vom 20.5.81, S. 11)</p>
<p><b>Arbeitsauftrag:</b> Nenne die Ursachen der hier gemeldeten Störfälle. Überlege, wodurch ein Verlust des Kühlmittels eintreten kann.</p>	

A V.1

Wie sicher ist ein Kernkraftwerk? Pro und contra am Beispiel des Reaktordruckgefäßes	A. V. 2
<p><b>„Kann der Reaktordruckbehälter bersten?“</b></p> <p>Das Bersten des Reaktordruckgefäßes stellt eine lediglich theoretisch mögliche Beschädigung der Anlage dar; sie gehört in die Gruppe der hypothetischen Reaktorunfälle. Weil weit sind unabhängige Fachleute sowie eigene eingesetzte Kommissionen der Überzeugung, daß ein Spindbruch (Bersten) des Reaktordruckgefäßes bei den verwendeten hochwertigen Werkstoffen und der Überdimensionierung der Wandstärken auszuschließen ist. Geeignete Werkstoffwahl und eine ausreichende Abschirmung der Druckkesselwand gegenüber der Neutronenstrahlung aus der Spaltzone lassen keine unzulässige Versprödung des Stahls eintreten, auch nicht bei einem klüftigen Betrieb der Anlage. Die sorgfältige Berechnung und Konstruktion des Druckgefäßes mit der abschließenden Druckprobe als integraler und überdimensionierter Test bieten weitere Sicherheiten. Außerdem wird das Reaktordruckgefäß während der Betriebszeit regelmäßig mit Hilfe zerstörungsfähiger Werkstoffprüfungen (Ultraschall) eingehend untersucht. Mit diesen Methoden können kleinste Risse, die sich im zarten Grundmaterial nur langsam fortpflanzen, erkannt werden. Bei dem bisherigen Betrieb von Kernkraftwerken haben sich weltweit noch keine derartigen Beschädigungen an Reaktordruckgefäßen gezeigt.</p> <p>Bei eventuellen Leckagen an der gesamten druckführenden Umschließung von Reaktorkern und Reaktorkühlmittel wurde darüber hinaus der ganze System einschließende Sicherheitsbehälter ein Entweichen von Radioaktivität in die Umgebung verhindern. So gesehen sind die Druckbehälter als sicher anzusehen. Eine Gefahr für die Umwelt besteht nicht.“</p> <p>(aus: Hamburgische Elektrizitätswerke, Nordwestdeutsche Kraftwerke, 1976, S. 27)</p>	
<p><b>„Schwachstelle Druckbehälter“</b></p> <p>Der Druckbehälter ist ein zusammengeschweißter Stahlbehälter und hat die Aufgabe, Reaktorkern und Kühlsystem mechanisch und hydrodynamisch zu verschließen. Die technischen Probleme bei der Herstellung sind groß. Das Material ist ungewöhnlich dick (bis 25 cm), so daß die Qualitätskontrolle, die dem TÜV unterliegt, sehr erschwert ist. Man benötigt hierzu aufwendige Verfahren, wie z.B. kontinuierliche Ultraschallbestrahlung. Diese Prüfverfahren sind in der Praxis nicht ausreichend erprobt, der Nachweis ihrer Zuverlässigkeit ist nicht erbracht.</p> <p>Bem Betrieb des Reaktors ist der Stahl des Druckbehälters ständig starker Neutronenstrahlung ausgesetzt. Kleinste Teilchen prallen unaufrührlich auf seine Oberfläche und zerstören ihre Struktur. Dieser Strahlenbeschuss, sowie Temperaturwechsel und äußere Last, unterwerfen das Material einem enormen Stöß. Versprödung und das Entstehen kleiner und größerer Risse sind die Folge, besonders an den Rohrnähten und Schweißnähten. Schon bei kleinen Rissen ist ein Bersten des Druckgefäßes möglich. Bei dem Druckgefäß, ist ein Super-Gau kaum zu vermeiden.</p> <p>(aus: Stein 1977, S. 38f)</p>	
<p><b>Arbeitsauftrag:</b> Gib von den Argumenten der Gegner und Befürworter die drei dreier Meinung nach wichtigsten wieder!</p>	

A V.2

## Tafelbilder

Tb V.1

Mögliche Ursachen eines Kühlmittelverlustes

- Bruch der Kühlmittel-leitung
- Undichtigkeiten im Reaktordruckgefäß

Tb V.2

Technische Maßnahmen zur Störfallkontrolle bei Kühlmittelverlust

- Einsatz einer Zusatzkühlung
- Sofortabschaltung des Reaktors

Folgen eines Kühlmittelverlustes

- Überhitzung des Reaktorkerns
- Schmelzen der Steuerungseinrichtungen
- Kernspaltung gerät außer Kontrolle

Tb V.3

Argumente zum Bau eines Kernkraftwerks im Ballungszentrum

Kernenergiebefürworter	Kernenergiegegner
– kurze Energieübertragungswege	– radioaktive Belastung bei Normalbetrieb
– Kosteneinsparung	– Gefährdung einer großen Zahl von Menschen bei einem schweren Unfall
– umfassende Sicherheitstechnik	

Tb V.4

Planspiel: Atomkraftwerk in Wohnortnähe

wirtschaftliche Argumente	sicherheitstechnische Argumente
Lokalpolitiker	
Bürgerinitiative gegen Atomkraftwerke	
Sachverständiger der Kernindustrie	
Sachverständiger der Bürgerinitiative	
Vertreter der lokalen Industrie	
Vertreter der Kernindustrie	

**Fiktive Rundfunkmeldung**

Sprecher (der Text des Sprechers entstammt einem Entwurf einer über den Rundfunk zu verbreitenden Meldung im Falle eines Unfalls im KKW Biblis, ausgearbeitet vom Hessischen Innenministerium. Nach: Frankfurter Rundschau, Wochenendbeilage Zeit und Bild, vom 28.9.1974, S. I):

„Wichtige Durchsage der Katastropheneinsatzleitung an die Bevölkerung der Kreise ... (Bergstraße, Groß-Gerau, Darmstadt). Im Kernkraftwerk Biblis hat sich ein kerntechnischer Unfall ereignet. Die Bevölkerung wird zum Schutz ihrer Gesundheit gebeten, in die Häuser zu gehen und alle Fenster und Türen zu schließen. Be- und Entlüftungsanlage abstellen, um eine Verseuchung Ihres Körpers, Ihrer Kleidung, Ihrer Wohn- und Wirtschaftsräume zu vermeiden.

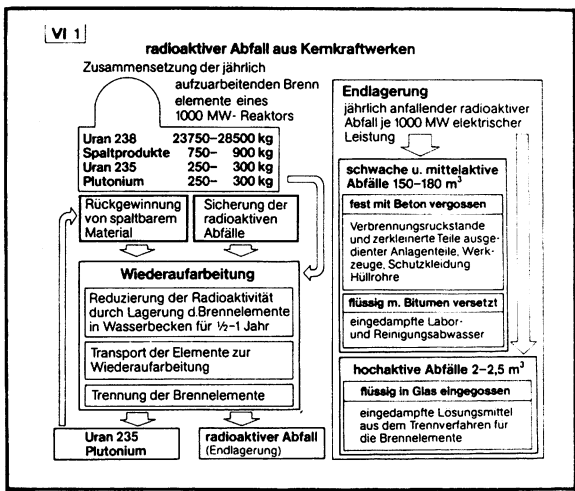
Schließen Sie Haustiere sofort in Wohnung oder Stall ein. Gehen Sie vorerst nicht mehr ins Freie. Wenn Sie im Freien waren, ziehen Sie sofort Ihre Oberkleidung und Schuhe aus und legen sie im Freien ab. Reinigen Sie Ihre unbedeckten Körperteile wie Gesicht und Hände mit

Seife. Ziehen Sie nur Kleidung und Schuhe an, die Sie in Ihrer Wohnung hatten. Essen und trinken Sie vorerst möglichst nichts oder nur im Hause vorhandene Konserven aus Dosen, Gläsern oder sonstigen staubdichten Packungen und Flaschengetränke. Vermeiden Sie den Genuß von frisch geerntetem Obst und Gemüse, frisch gemolkener Milch und Trinkwasser aus Brunnenanlagen. Verfüttern Sie an Haustiere nur in Haus, Scheune oder im Stall gelagerte Futtermittel. Spülen Sie vor der Tränke des Viehs die Tränkeeimer oder die automatische Tränkanlage gut durch.

Aus Sicherheitsgründen empfehlen wir der Bevölkerung, die in der Umgebung der betroffenen Gemeinden lebt, sich in die Häuser zu begeben. Es wird davor gewarnt, sich außerhalb des Gemeindegebietes zu bewegen. Die Kraftfahrer werden gebeten, die genannten Gebiete im Raume ... (Südhessen, Rheinhessen, Nordbaden) zu meiden. Es wird darauf aufmerksam gemacht, daß folgende Straßen für den überörtlichen Verkehr gesperrt sind. . . Der Schiffsverkehr Berg- und Talfahrt ist von Stromkilometer 444.3 (oberhalb Einfahrt Handelshafen Worms) bis Stromkilometer 470.0 (Gernsheim) gesperrt. Bleiben Sie ruhig und besonnen. Sie erhalten in Kürze weitere Mitteilungen.“

# Arbeitsmaterial zum Stundenkomplex VI

## Transparente



Tr VI.1

## Arbeitsblätter

Verbesserung der Urannutzung

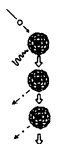
A VI.1

Teil 1: Kernbrennstoff Uran

Vorkommen:	Weltvorräte: (ohne Ostblock und China)	Zusammensetzung im Reaktor:
als Erz in über 150 Mineralien	bekannte, kostengünstig abbaubare Vorräte: 3,5-4 Mill. t	Vor dem Abbrand: U 238 ~ 97 % U 235 ~ 3 %
Isotopenzusammensetzung: U 238 ~ 99,3 % U 235 ~ 0,7 %	Deckung des Weltbedarfs bis zum Jahre 2000	Nach dem Abbrand: U 238 ~ 95 % U 235 ~ 1 % Plutonium ~ 1 % Spaltprodukte ~ 3 %

Teil 2: Technisches Verfahren zur Nutzung des Uran 238 – Schneller Brüter

Nicht spaltbares U 238 wird mit Neutronen beschossen. Unter Aussendung von  $\gamma$ -Strahlung wird der U 238 Kern zum U 239 Kern. Nach Angaben von  $\beta$ -Strahlung geht der U 239 Kern in Np 239 über. Dabei wird ein Neutron zum Proton. Ebenfalls unter Aussendung von  $\beta$ -Strahlen und der Umwandlung eines Neutrons in ein Proton wird aus Np 239 das spaltbare Pu 239.



	Anzahl der	
	Protonen	Neutronen
U 238		
Np 239		
Pu 239		

Teil 3: Sicherheitsprobleme beim Schnellen Brüter

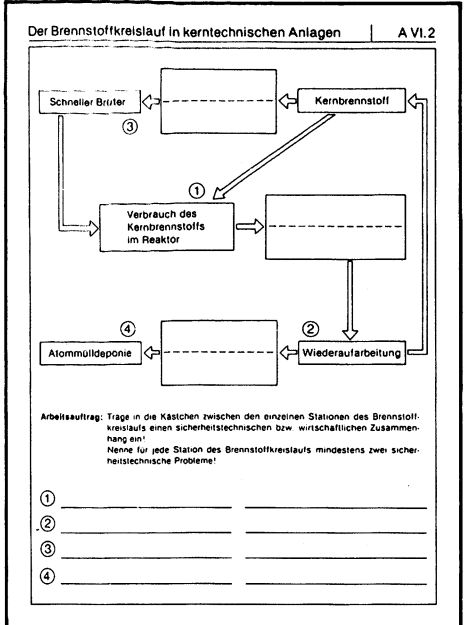
1

2

3

Arbeitsauftrag: Gib drei, dem Schnellen Brüter eigentümliche Sicherheitsprobleme an!

A VI.1

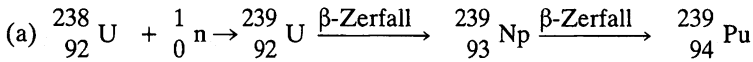


A VI.2

## Tafelbilder

### Tb VI.1 a, b

Herstellung von spaltbarem Plutonium aus U 238



(b) Sicherheitsprobleme:

- höhere Materialbelastung durch schnelle Neutronen
- chemisch aggressives Kühlmittel Natrium
- Transport und Überwachung des überschüssigen Plutoniums

### Tb VI.2 a, b

(a) Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente

(b) Sicherheitsprobleme:

- Entstehung hochradioaktiver Abfälle
- Unfallgefahren beim Transport der Brennstäbe und der Abfälle
- bei der Zerkleinerung der Brennstäbe werden leichtflüchtige Spaltprodukte freigesetzt.

### Tb VI.3

Entsorgungsprobleme:

- sichere Abschirmung der hochradioaktiven Stoffe über einen Zeitraum von mehreren Tausend Jahren
- geologische Stabilität der Salzstöcke
- Unfallrisiken beim Transport der Abfälle mit Lastenaufzügen und Fahrzeugen innerhalb der Endlagerstätte.

# Lernfeld Wirtschaft

Die Lehrplanentwicklung der letzten Jahre zeigt, daß dem Lernbereich Wirtschaft in der Sekundarstufe wachsende Bedeutung zukommt. Beispiele sind die neu konzipierten Fächer „Arbeitslehre/Polytechnik“ und „Wirtschafts- und Sozialkunde“. Aber auch innerhalb der politischen Bildung ist der Stellenwert wirtschaftlicher Themen eher größer geworden.

## Lehrerhandbuch

Heinz Klippert/  
Hannes Siege u. a.

### Lernfeld Wirtschaft

Theoretische und didaktische Grundlegung. Unter Mitarbeit von Reinhart Ahnefeld, Jürgen Belgrad, Hermann Esch, Axel Görlitz, Ute Görlitz-Hinze. 1980. 206 S. br DM 19,80 (62031)  
Der Band liefert das fachwissenschaftliche und -didaktische Basiswissen, das jeder Lehrer oder pädagogisch Interessierte benötigt. Er enthält ferner didaktisch-methodische Vorschläge zur unterrichtspraktischen Umsetzung der zu behandelnden Themenkreise.

## Schülerarbeitshefte

Heinz Klippert  
**Arbeit**

1980. 70 S. br DM 9,- (62264)  
Das Schülerheft „Arbeit“ gibt mit einer Vielzahl von Unterrichtsmaterialien und Arbeitsanregungen einen differenzierten Einblick sowohl in den wirtschaftlich - technischen Wandel wie in die aktuellen Problemkreise Berufswahl, Rationalisierung, Arbeitsunzufriedenheit, Arbeitslosigkeit und Streiks.



Axel Görlitz/Ute Görlitz-Hinze  
**Werbung**

1980. 72 S. br DM 9,- (62266)  
Das Heft bereitet nach einer didaktisch-methodischen Konzeption verschiedenartige Materialien zum Lerngegenstand „Werbung“ auf.

Reinhart Ahnefeld  
**Transport**

1980. 67 S. br DM 9,- (62269)  
Mit den Materialien zu neun didaktisch in sich abgeschlossenen Themen aus dem Bereich des Personen-, Nachrichten- und Gütertransports werden Lebenssituationen konstruiert, die dem Erfahrungshorizont der Schüler entsprechen und - unterstützt durch Arbeitsanregungen - zu Problemlösungen auffordern.

J. Belgrad/H. Esch  
**Auto**

1980. 80 S. br DM 9,- (62267)  
Das Arbeitsheft will am Beispiel „Auto“ in wirtschaftliche Zusammenhänge einführen.

Hannes Siege  
**Geld**

1980. 72 S. br DM 9,- (62265)  
Dieses Arbeitsheft liefert Material zum tieferen Verständnis der Funktion des Geldes für uns und unsere Volkswirtschaft. Behandelt werden Themen von der „Geschichte des Geldes“ bis zur Problematik der „Inflation“.

## Kopiervorlagen

### Arbeitsblätter zum Lernfeld Wirtschaft

Von allen Autoren des Lernfeldes „Wirtschaft“. 36 Kopiervorlagen; mit Anleitung.  
DM 70,- (99008)

Die Kopiervorlagen sind den 5 Themenbereichen des Lernfeldes Wirtschaft zugeordnet. Sie wurden darüberhinaus für einen von den Schülerarbeitsheften unabhängigen Einsatz konzipiert.

# BELTZ

Beltz Verlag, Postfach 1120,  
6940 Weinheim  
Verlag Beltz Basel,  
Postfach 2346, 4002 Basel

Preisänderungen vorbehalten. 301.82